

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(назва факультету)  
Конструювання верстатів, інструментів та машин  
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до дипломної роботи

**магістр**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Теоретичне обґрунтування модернізації зубодовбального верстата  
для формування регулярних мікрорельєфів на евольвентних поверхнях  
зубчастих коліс

Виконав: студент 6 курсу, групи МВм-61

спеціальності (напряму підготовки) 133

Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Гураль А.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Кривий П.Д.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ярема І.Т.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Дичковський М.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Спеціальність \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Кобельник В.Р.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гураля Андрія Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Теоретичне обґрунтування модернізації зубодовбального верстата для формування регулярних мікрорельєсів на евольвентних поверхнях зубчастих коліс

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. Кривий Петро Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «27» вересня 2019 року №4/7-850

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 20 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Існуючі технологічні процеси формування регулярних Мікрорельєсів на поверхнях деталей машин та верстатне забезпечення. Паспортні дані зубодовбального верстата моделі 514. Наукові праці школи Г.А.Шнейдера, які Обґрунтовують доцільність таких рельєсів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз стану питання. Оптимізація схем формоутворення на модернізованому верстаті і оптимізація його компоновальної схеми. Технологічний розрахунок. Проектування конструкції металообробного обладнання. Науково-дослідний розділ (Аналіз механізму деформування поверхні зубів колеса деформівними елементами евольвентного профіля; розробка принципової схеми пристрою із замкнутим контуром для віброобкочування зубчастих коліс; розробка конструкції віброобкатник). Автоматизований розрахунок шліцевого та шпонкового з'єднання. Техніко-економічне обґрунтування. Охорона праці і БЖД. Екологія.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів): Види зигзагоподібних мікрорельєсів – 1 л.ф.А1. Види синусоїдальних мікрорельєсів – 1 л.ф.А1. Огляд методів віброобкочування – 1 л.ф.А1. Пристрій для вимірювання радіального биття – 1 л.ф.А1. Формоутворення – 1 л.ф.А1. Вібраційний обкатник – 1 л.ф.А1. Кінематична схема – 1 л.ф.А1. Креслення деталі – 1 л.ф.А2. Креслення заготовки – 1 л.ф.А2. Наладка на зубодовбальну операцію – 1 л.ф.А2. Принципова схема пристрою – 1 л.ф.А2. Графіки залежностей відносної площі віброобкочування - 2 л.ф.А2.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	К.т.н., ас. Сенік А.А.		
Обгр.економ.ефектив.	К.т.н., проф. Кривий П.Д.		
Охорона праці та БЖД	К.т.н., доц. Окіпний І.Б.		
	Ст. викл.Клепчик В.М.		
Екологія	К.т.н., доц. Зварич Н.М.		

7. Дата видачі завдання

27 вересня 2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Вступ. Аналіз стану питання	До 7.10.2019	
2.	Оптимізація схем формоутворення на модернізованому верстаті	До 14.10.2019	
3.	Оптимізація його компоновальної схеми модернізованого верстата	До 20.10.2019	
4.	Технологічний розрахунок	До 25.10.2019	
5.	Проектування конструкції металообробного обладнання	До 01.11.2019	
6.	Виконання науково-дослідного розділу Автоматизований розрахунок шліцевого та шпонкового з'єднання	До 26.11.2019 До 29.11.2019	
7.	Обґрунтування економічної ефективності розробки	До 05.12.2019	
8.	Обґрунтування проекту з точки зору охорони праці і безпеки життєдіяльності	До 07.12.2019	
9.	Виконання розділу «Екологія». Висновки	До 10.12.2019	
10.	Виконання графічної частини дипломної роботи	До 20.12.2019	

Студент

(підпис)

Гураль А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Кривий П.Д.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Гураль А.І. Теоретичне обґрунтування модернізації зубодовбального верстата для формування регулярних мікрорельєфів на евольвентних поверхнях зубчастих коліс.

Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Дипломна робота присвячена важливій науково-технічній задачі, яка полягає у створенні верстатного обладнання і математичних моделей для формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях зубів циліндричних прямозубих коліс. Розглянуто три види частково регулярних мікрорельєфів: з паралельними синфазними канавками; з системою синфазних канавок, що дотикаються по вершинах; із системою асинфазних канавок, що дотикаються по вершинах. Розглянуто і виконано комплекс технологічних розрахунків для проектування технологічного процесу виготовлення деталі-представника. У плані модернізації верстата здійснено кінематичний розрахунок приводу головного руху і розраховано на міцність елементи механізму приводу. Окрім цього запропонована принципова конструкторська схема пристрою із замкнутим силовим контуром для вібраційного обкочування прямозубих зубчастих коліс.

Подані необхідні техніко-економічні розрахунки, які підтверджують доцільність виконання даної дипломної роботи.

Ключові слова: зубчасте колесо, евольвента, математична модель, частково регулярний мікрорельєф, вібраційний інструмент.

A.I.Hural. Theoretical substantiation of a gear-shaping machine retrofit to form a regular micro relief on the evolvement surfaces of gear wheels.

Diploma thesis for the fulfillment of educational-qualification level of “Master” in specialism 133 “Industry engineering”. Ternopil Ivan Pul’uj National Technical University, Ternopil, 2019.

Diploma thesis is dedicated to an important scientific and engineering problem of development of machine-tools and mathematical models for forming partially regular microreliefs on work evolvent surfaces of cylindrical spur gear teeth. Three types of partially regular microreliefs are considered: ones with parallel in-phase grooves; with a system of tip tangent in-phase grooves; with a system of tip tangent transverse grooves. A complex set of technological design for the development of the specimen manufacturing process. Within machine tool modernization program a kinematic estimation of the main motion drive was performed and components of drive mechanism were estimated for their ruggedness. Besides, a conceptual structure diagram of device with four-square torque loop for vibrational spinning of spur gears was proposed.

Essential technical and economic estimate was introduced confirming the feasibility of this diploma thesis.

Key words: tooth gear, evolvent, mathematical model, partially regular microrelief, vibrational tool.

Вступ .....	8
1. Аналіз стану питання .....	13
1.1. Вплив якості робочих поверхонь зубів зубчастих коліс на їх експлуатаційні властивості .....	13
1.2. Показники і особливості фінішної обробки зубчастих коліс різанням .....	16
1.3. Викінчувально-зміцнювальна обробка зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням. Особливості та перспективи розвитку .....	17
1.4. Викінчувально-зміцнювальна обробка поверхонь вібраційним накатуванням з утворенням регулярних мікрорельєфів .....	22
2. Оптимізація схем формоутворення на модернізованому верстаті і оптимізація його компоновальної схеми .....	28
2.1. Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь .....	28
2.2. Розробка і обґрунтування кінематичної структури верстата ....	31
2.3.1. Вибір компоновочної схеми верстата .....	33
2.3.2. Визначення технологічних модулів та модульних комплексів .....	33
2.3.3. Аналіз типів базових компоновок .....	35
2.4. Обґрунтування умов відбору компоновок і вибір раціонального варіанту .....	37
3. Технологічний розрахунок .....	39
3.1. Службове призначення деталі .....	39
3.2. Аналіз деталі на технологічність .....	40
3.3. Аналіз типу організаційної форми виробництва .....	44
3.4. Вибір та техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки .....	45
3.5. Вибір та техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі .....	48
3.6. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання .....	53
3.7. Обґрунтування та вибір різального та контрольнo-вимірювального інструменту .....	58
3.8. Розрахунок припусків .....	62
3.9. Встановлення режимів різання .....	67
3.10. Нормування часу .....	67
4. Проектування конструкції верстатного обладнання .....	74
4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату .....	74
4.2. Вибір потужності і типу двигунів .....	77
4.3. Проектування приводу головного руху .....	77

4.3.1. Вихідні дані для розрахунку приводу .....	77
4.3.2. Обґрунтування принципової конструктивної схеми .....	78
4.3.3. Кінематичний розрахунок приводу .....	79
4.4. Розрахунок на міцність деталей і механізмів приводу головного руху .....	84
4.4.1. Розрахунок навантажень, що діють на привод .....	84
4.4.2. Перевірочний розрахунок зубчастих передач на згин та контактну витривалість .....	86
4.4.3. Розрахунок шліцьових і шпонкових з'єднань .....	91
5. Науково-дослідний розділ .....	93
5.1. Мета проведення досліджень .....	93
5.2. Аналіз механізму деформування поверхні зубів колеса деформівними елементами евольвентного профіля .....	93
5.3. Модернізація зубодовбального верстата моделі 514 .....	99
5.3.1. Кінематична схема модернізованого зубодовбального верстата .....	99
5.3.2. Основні засади модернізації зубодовбального верстата моделі 514.....	101
5.3.3. Принципова схема пристрою із замкнутим контуром для віброобкатування зубчастих коліс на зубодовбальному верстаті .....	101
5.4. Види частково регулярних зигзагоподібних мікрорельєфів на евольвентних поверхнях .....	103
5.5. Визначення відносної площі віброобкочування, сформованої Одним обкатником на певному крокові .....	107
5.6. Інструмент фінішної обробки шляхом формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях зубчастих прямозубих коліс .....	110
6. Спеціальна частина .....	112
7. Обґрунтування економічної ефективності модернізації зубодовбального верстата мод. 514 .....	116
7.1. Розрахунок показників рівня та якості проектного виробу ..	116
7.2. Обґрунтування економічної ефективності модернізованої конструкції верстата .....	119
7.2.1. Зміст організаційно-технічної підготовки .....	119
7.2.2. Організація та планування технічної підготовки виробництва .....	119
7.2.3. Зміст та етапи конструкторської підготовки виробництва .....	119
7.2.4. Зміст та етапи технологічної підготовки виробництва .....	120
7.2.5. Визначення трудомісткості та об'єму конструкторської підготовки виробництва .....	120
7.2.6. Визначення трудомісткості та об'єму робіт технологічної підготовки виробництва .....	123
7.2.7. Кошторис витрат .....	124

7.3. Система показників економічної ефективності нової машини ..	126
7.3.1. Визначення собівартості і ціни модернізованого верстата .....	126
7.3.2. Розрахунок витрат у споживачів нової техніки .....	129
7.3.3. Визначення розрахункової кількості обладнання .....	130
7.3.4. Визначення кількості верстатників і наладчиків .....	131
7.3.5. Капітальні витрати .....	132
7.3.6. Біжучі витрати .....	132
7.3.7. Узагальнюючі техніко-економічні показники модернізованого верстата .....	138
8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	141
8.1. Охорона праці .....	141
8.1.1. Поняття горіння та класифікація його видів .....	141
8.1.2. Способи і засоби гасіння пожеж .....	142
8.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях .....	145
8.2.1 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до впливу уражаючих факторів ядерної зброї .....	145
8.2.1.1 Методика оцінки стійкості промислових об'єктів..	145
8.2.1.2 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу ударної хвилі .....	147
8.2.1.3 Оцінка стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання .....	148
8.2.1.4 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження .....	150
9. Екологія .....	152
9.1. Актуальність охорони навколишнього середовища .....	152
9.2. Аналіз забруднень та існуючих методів очищення викидів і скидів у цехах механічної обробки .....	153
9.3. Заходи із зменшення забруднення довкілля на машинобудівних підприємствах .....	154
Висновки .....	156
Перелік посилань .....	158
Додатки .....	161

## Вступ

Всі галузі промисловості в умовах постійно прогресуючого науково-технічного прогресу потребують високоефективних, високоточних та автоматизованих машин. Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних областях господарства України. Безперервне вдосконалення і розвиток машинобудування зв'язані з прогресом верстатобудування, оскільки металорізальні верстати разом з декількома іншими видами технологічних машин забезпечують виготовлення будь-яких нових видів обладнання.

Експлуатаційні властивості деталей машин та приладів, у тому числі найпоширеніших і відповідальних зубчастих коліс, в значній мірі визначаються якістю робочих поверхонь, що створюються на фінішних операціях.

Традиційні методи фінішної обробки зубчастих коліс різанням характеризуються значною трудомісткістю і низькою якістю поверхні зубів після обробки.

Висока якість обробки в поєднанні з ефективними технологічними показниками найповніше реалізується в калібрувальній і зміцнювальній обробці зубчастих коліс пластичним деформуванням матеріалу поверхневого шару в холодному стані. Але можливості такої обробки обмежені твердістю матеріалу оброблюваних зубчастих коліс (не більше HRC 40), жорсткістю їх зубців.

Суттєвий резерв підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин та пристроїв полягає в регуляризації мікрогеометрії їх робочих поверхонь. Основним методом її забезпечення є вібраційне накатування, що базується на пластичній деформації матеріалу поверхневого шару в холодному стані. Дослідження в області вібраційного накатування обмежувались, головним чином, обробкою деталей циліндричної форми одним сферичним деформуючим елементом, кінематика руху якого в поєднанні із рухом заготовки забезпечували регуляризацію, і на основі неї – оптимізацію мікрорельєфу.

Відсутність відомостей про технологічні можливості вібраційного накатування стримують використання процесу в промисловості. Необхідно дослідити можливості суміщення в єдиній технологічній операції калібрування зубчастих коліс із регуляризацією мікрорельєфу робочих поверхонь та зміцнення



зубів, підвищення мобільності в управлінні процесом калібрування зубчастих коліс і на цій основі - розширення його технологічних можливостей.

Одна з цілей роботи - розробка й теоретичне дослідження процесу обробки та зміцнення циліндричних зубчастих коліс пластичним деформуванням осцилюючим інструментом, що суміщає калібрування поверхні зубців з регуляризацією і оптимізацією їх мікрогеометрії, та реалізація процесу при низькому рівні силових параметрів.

На основі сформульованих в результаті аналізу стану питання принципів розроблена схема обробки, в якій управління процесом реалізується параметрами режиму обробки і параметрами конструкції інструменту.

### **Актуальність теми роботи**

Тенденції сучасного машинобудування полягають у значній інтенсифікації потужності, продуктивності, швидкості виконавчих органів, з одного боку, і забезпеченні високої якості робочих поверхонь оброблюваних деталей, зокрема високої точності, оптимальної шорсткості робочих поверхонь та високих їх фізико-механічних властивостей, з іншого.

Експлуатаційні властивості робочих поверхонь деталей машин та приладів, у тому числі найпоширеніших і найвідповідальніших – зубчастих коліс – у значній мірі визначаються якістю робочих поверхонь, що створюються, в основному, фінішними операціями.

Традиційні методи фінішного оброблення зубчастих коліс різанням характеризуються значною трудомісткістю, невисокою якістю робочих поверхонь у плані забезпечення таких показників поверхонь як мастильна місткість, зміцнення поверхневого шару, регуляризація мікровідхилень робочих поверхонь.

Висока якість оброблення у поєднанні з ефективними технологічними показниками найповніше реалізується у калібрувальному і зміцнювальному обробленні зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням у холодному стані з використанням обкочування, здійсненого різними видами роликів: циліндричними, конічними, виконаними у вигляді зубчастих коліс тощо. Проте можливості такого оброблення обмежені такими параметрами як твердість

матеріалу оброблюваних зубчастих коліс (HRc40), жорсткістю зубів, високими енергетичними затратами, невисокою стійкістю використовуваних інструментів.

Суттєвий резерв підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин і зубчастих коліс полягає, зокрема, у забезпеченні регуляризації мікрогеометрії їх робочих поверхонь. Основним методом її забезпечення є вібраційне у постійно змінюваних напрямках обкочування, що базується на пластичній деформації поверхневого шару матеріалу деталі у холодному стані. Дослідження в області вібраційного обкочування обмежувались, головним чином, обробленням деталей циліндричної форми сферичним деформуючим інструментом, кінематика руху якого у поєднанні з рухом заготовки, забезпечує повну або часткову регуляризацію мікрорельєфу.

Існуючі дослідження в галузі формоутворення частково або повністю регулярних мікрорельєфів робочих евольвентних поверхонь зубчастих прямозубих циліндричних коліс на даний час не дають відповідей на цілий ряд питань і не може використовуватись у виробництві.

Таким чином, створення технологічного процесу формування методом вібраційного обкочування регулярних мікрорельєфів різних видів на робочих евольвентних поверхнях зубчастих коліс із розробленням інструментально-верстатного обладнання, які забезпечуватимуть зміцнення поверхневого шару і підвищену мікротвердість, мастильну місткість поверхонь та підвищену точність евольвентного профілю, сприятиме збільшенню зносостійкості зубчастих коліс, що, безперечно, є новим і актуальним.

**Мета і завдання.** Модернізація зубодовбального верстата для фінішного оброблення евольвентних поверхонь прямозубих зубчастих коліс вібраційним обкочуванням із розробленням інструменту та математичних моделей різних видів мікрорельєфів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Здійснити аналіз стану питання, висвітливши такі пункти:
  - 1.1. Вплив якості поверхонь зубів зубчастих коліс на їх експлуатаційні властивості.

- 1.2. Показники і особливості фінішного оброблення зубчастих коліс різанням.
  - 1.3. Викінчувально-зміцнювальна обробка зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням.
  - 1.4. Викінчувально-зміцнювальна обробка робочих евольвентних поверхонь зубчастих коліс вібраційним обкочуванням з утворенням частково регулярних мікрорельєфів.
2. Розробити принципіві схеми процесу вібраційного обкочування робочих поверхонь прямозубих циліндричних коліс.
  3. Розробити геометричні моделі трьох видів частково регулярних мікрорельєфів на робочих поверхнях зубів прямозубих циліндричних зубчастих коліс.
  4. Техніко-економічне обґрунтування доцільності виконання поставленого завдання.
  5. Розробити заходи безпеки з охорони праці, безпеки життєдіяльності та екології.

**ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ** – процес формування на евольвентних поверхнях зубів прямозубих циліндричних коліс частково регулярних мікрорельєфів вібраційним обкочуванням.

**ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ** – кінематика руху інструмента і заготовки, математичні моделі частково регулярних мікрорельєфів, інструментальне забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Запропоновані математичні моделі формування трьох частково регулярних мікрорельєфів.
2. Вперше запропоновано кінематику формування частково регулярних мікрорельєфів, особливістю якої є кінематичний зв'язок всіх рухів інструменту і заготовки – зубчастого колеса.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено принципову конструктивну схему пристрою із замкнутим силовим контуром для формування регулярних мікрорельєфів на робочих зубчастих коліс.

2. Розроблено принципову кінематичну схему модернізованого зубодовбального верстата для формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях зубів циліндричних зубчастих коліс.

**Апробація.** Основні положення виконаної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних семінарах кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин та конференції.

**Публікації.** Основні положення науково-дослідної частини виконаної дипломної роботи висвітлені у тезах доповідей на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів (27-28 листопада 2019 р., м.Тернопіль).

**Структура та обсяг роботи.** Дипломна магістерська робота складається із трьох частин: вступу, графічної частини і розрахунково-пояснювальної записки. Графічна частина виконана на 10 листах формату А1, а пояснювальна записка складається із 9 розділів, виконаних на 163 листах формату А4, в тому числі додатків на 28 листах формату А4.

# 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

## 1.1. Вплив якості робочих поверхонь зубів зубчастих коліс на їх експлуатаційні властивості

Одним із елементів якості зубчастих коліс є стан робочих поверхонь, тобто фізико-хімічні властивості й геометричні характеристики поверхневого шару зубів, який формується, переважно, на кінцевих операціях обробки зубчастих коліс.

Надійність і працездатність зубчастих передач обмежується головним чином, згинною або контактною міцністю та зношенням.

Втомні пошкодження – найбільш характерний вид поломки зубів під дією пульсуючих навантажень

Вплив мікрорельєфу поверхні зубів на втомну міцність в якісному вигляді визначається залежністю :

$$\sigma_r = f(R_{\max}/r),$$

де  $R_{\max}$  – максимальна висота нерівностей поверхні;

$r$  – радіус округлення дна впадин нерівностей.

Також на втомну міцність зубів здійснює значний вплив напрям слідів кінцевої обробки відносно вектора швидкості взаємного ковзання профілів. Найбільш доцільна їх орієнтація по поверхні зуба в напрямку, перпендикулярному до твірної зуба.

Зношування поверхонь зубів, що працюють в умовах режиму граничного тертя, відбувається внаслідок механічного зачеплення найбільш виступаючих нерівностей спряжених поверхонь. В процесі зношування на поверхні зубів утворюється експлуатаційна шорсткість поверхні, характеристики якої визначаються умовами експлуатації. Тому не рекомендується без особливої необхідності досягати шорсткості поверхонь зубів  $R_a$  менше 1,25...0,32 мкм.

Внаслідок інтенсивного тепловиділення на площадках контакту нерівностей при високих контактних тисках масляна або окисна плівка розривається, що сприяє агдезійному схоплюванню нерівностей і вириванню частинок металу з поверхні зубів – відбувається процес заїдання.

Ю.Н.Дроздов вважає, що для зменшення інтенсивності агдезійного схоплювання, сліди обробки повинні забезпечувати перервність контакту. Напрямок слідів обробки не повинен бути паралельний до вектора швидкості руху тіл, що труться.

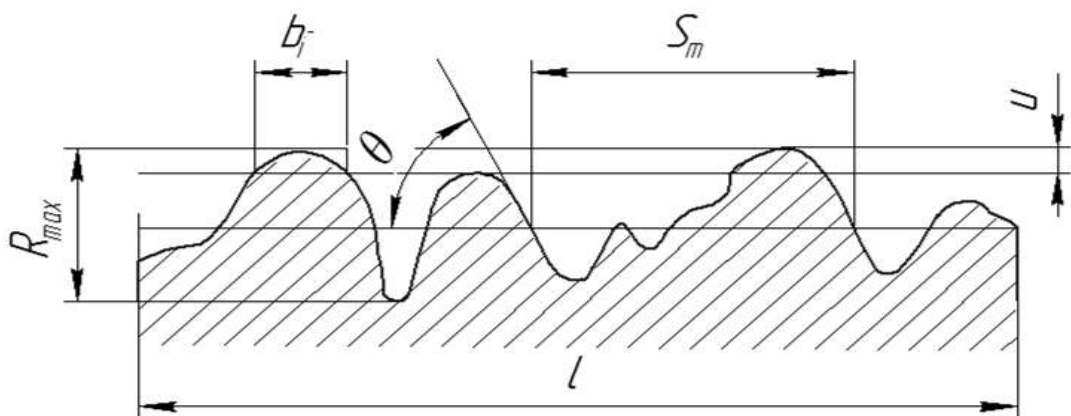
Вивчаючи вплив притирання на навантаження заїдання, А.І. Петрусевич і Ю.Р. Вітенберг встановили зв'язок навантаження заїдання з параметрами мікрогеометрії поверхні:

$$g_z = 550 + 350 * \frac{S_m^{0,93} * b_{0,15}^{0,3}}{R_{max}^{0,86}},$$

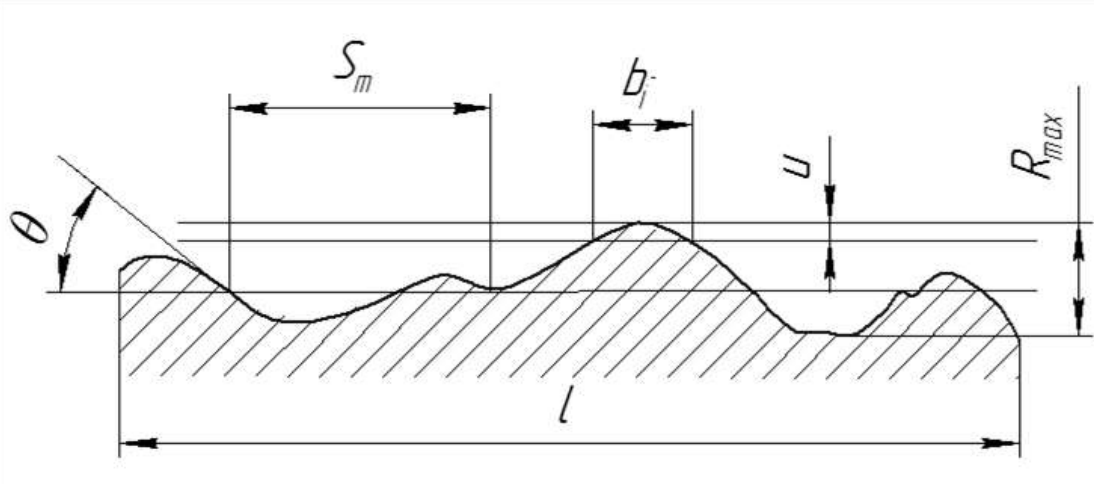
де  $S_m$ ,  $R_{max}$  – параметри шорсткості поверхні по ГОСТ 2789-73;

$b_u$  – довжина контакту нерівностей в осьовому напрямку (рівень  $u = 0,15$  мкм) (рис. 1.1).

Аналіз залежності дозволяє зробити висновок про визначальний вплив на заїдання параметрів шорсткості, зокрема, форми нерівностей, що характеризуються кутом  $\theta$  нахилу нерівностей в тангенціальному напрямку, який визначається відношенням параметрів  $S_m$  і  $R_{max}$  і довжиною контакту нерівностей в осьовому напрямку  $b_u = \sum b_i$  (рис. 1.1).



а – поперечна шорсткість



б – поздовжня шорсткість

Рисунок 1.1 - Геометричні характеристики стану поверхневого шару в період притирки

Таким чином, для підвищення експлуатаційних властивостей зубчастих коліс технологічними методами необхідно задоволення наступних вимог:

- твердість і мікротвердість поверхні зубів в результаті фінішної обробки повинні підвищуватись;
- поверхня зубів повинна бути переривчастою і достатньо масло ємкою;
- повинні створюватись залишкові напруженні з певним їх розподілом (як правило, біля поверхні стискуючі).

## 1.2. Показники і особливості фінішної обробки зубчастих коліс різанням

До найбільш розповсюджених методів фінішної обробки зубчастих коліс різанням відносяться: шевінгування, шліфування, зубохонінгування, притирка. Техніко-економічна ефективність різних методів фінішної обробки нерівноцінна і залежить від багатьох факторів.

Шевінгування зубчастих коліс проводиться шляхом зняття волосоподібної стружки зубами шевера при взаємному обкочуванні евольвентних профілів зубів шевера і колеса. В результаті шевінгування підвищується точність по нормам

плавності і контакту. По даним робіт в результаті шевінгування хвилястість поверхні зубів зменшується від 40 мкм до 1,5 мкм. Шорсткість зменшується від  $R_a = 0,5 \dots 0,8$  мкм. Мікрорельєф поверхні зубів неоднорідний, так як утворюється в результаті неоднорідної пластичної деформації, характерної для любого процесу різанням.

Зубошліфування – основна викінчувальна операція зубчастих коліс. Забезпечує 4...6 ступінь точності і шорсткість поверхні зубів  $R_a = 1,2 \dots 0,32$  мкм. Виділення великої кількості теплоти під час шліфування (температура в зоні різання досягає  $1300^{\circ}\text{C}$ ), основна частина якої сприймається оброблюваною деталлю, викликає на окремих ділянках зубів структурні зміни.

Таким чином, зубошліфування, забезпечуючи високу точність обробки, призводить до зниження ефективності попередніх операцій хіміко-термічного зміцнення, а управління процесом зубошліфування обмежується встановленням режимів обробки, що виключають припали, тріщини. Управління утворенням шорсткості поверхні, а в деяких випадках і параметрами точності обробки, ускладнене.

Зубохонінгування – високопродуктивний метод викінчувальної обробки загартованих відповідальних передач. Тривалість обробки зубів колеса діаметром до 300 мм складає 40...60 с. Цей процес здійснюється на верстатах без жорсткого кінематичного зв'язку інструменту й оброблюваного колеса і полягає в обкатуванні оброблюваного колеса з інструментом – хоном, виконаним із суміші пластичної маси і абразивного порошку. Шорсткість поверхні зубів після зубохонінгування попередньо шевінгованих до термообробки коліс  $R_a = 1,00 \dots 0,25$  мкм.

Притирання зубчастих коліс відповідальних передач застосовується для зменшення шуму, підвищення довговічності і плавності передачі шляхом покращення геометрії зачеплення і мікрорельєфу поверхні зубів і являє собою штучне зношування робочої поверхні зубів абразивною масою. Здійснюється по схемі вільного обкатування оброблюваного колеса в зачепленні з інструментом – чавунним притиром. Притир виконується по 5-му і вище степеню точності по ГОСТ 1643-72. Для інтенсифікації процесу притирання і виключення негативного впливу на якість притирки нульових швидкостей ковзання в полюсі зачеплення



оброблюваному колесу або притиру надають зворотно-поступальної рух вздовж осі обертання. Зусилля різання забезпечується гальмуванням ведучої ланки зачеплення. Якість обробки визначається, головним чином, розмірами абразивних частинок, що використовуються для притирання, і тривалістю обробки, яка зазвичай рівна 5...6 хв. Збільшення тривалості притирання приводить до спотворенню профілю зубів.

Таким чином, процеси викінчувальної обробки зубчастих коліс різанням направлені, в основному, на підвищення точності обробки (шевінгування, шліфування) і зменшення шорсткості поверхні. Фізико-хімічні характеристики поверхневого шару зубів в кращому випадку залишаються на рівні характеристик, що створюються після попередньої обробки.

Мікрорельєф поверхні зубів характеризується граничною неоднорідністю і несприятливою, з точки зору експлуатації формою і напрямом нерівностей.

### **1.3. Викінчувально-зміцнювальна обробка зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням. Особливості та перспективи розвитку**

На даний момент в багатьох країнах широке застосування знаходять різноманітні методи викінчувально-зміцнювальної обробки деталей поверхневим пластичним деформуванням. Простота реалізації, можливість використання універсального обладнання в поєднанні з високою якістю обробки і продуктивністю зумовило розробку схем і конструкцій пристосувань для широкого класу деталей машин і пристроїв, в тому числі одного із найбільш розповсюджених – зубчастих коліс.

Із основних схем обробки пластичним деформуванням найбільш широко використовуються в промисловості калібрування зубчастих коліс еталонними накатниками при вільному накатуванні в зачепленні з оброблювальним колесом.

Обробка великомодульних зубчастих коліс здійснюється, головним чином, деформуючими елементами – роликми, по схемі жорсткого кінематичного зв'язку у верстатному зачепленні інструменту й оброблюваного колеса.

На рис. 1.3 подані схеми калібрування зубчастих коліс трьома, двома і одним накатником.

Експериментальними дослідженнями процесу калібрування зубчастих коліс ( $m = 3$  мм,  $z = 45$ , матеріал – сталь 40Х) трьома накатниками, що проводився замість шевінгування, встановлено, що продуктивність процесу калібрування вище у 2...4 рази, точність накатаних зубчастих коліс вища, ніж шевінгованих. Відзначається також покращення експлуатаційних характеристик накатаних коліс.

Експериментальним науково-дослідницьким інститутом металорізальних верстатів розроблений і вбудований в автоматичну лінію обробки зубчастих коліс, замість шевінгування, накатний верстат моделі 5723, що працює трьома загартованими еталонними накатниками .

Зусилля деформування на верстаті цієї моделі забезпечується радіальною подачею роликів з допомогою вбудованої в верстат гідросистеми з тиском 0,2...1МПа. Частота обертання ведучого накатника 2,3...8,3 с<sup>-1</sup>, максимальний модуль накапуваних коліс – 6 мм. За такою схемою працює більшість верстатів фірм Болендер, Рейнекер, Феллоу, на яких калібруванням зубчастих коліс досягається 7...6 ступінь точності по ГОСТ 1643-72 .

За даним літературних джерел результаті накатування зубчастих коліс ( $m = 10$  мм,  $z = 75$ , матеріал – сталь 45) трьома зубчастими накатниками шорсткість поверхні зубів зменшилась до  $R_a = 1,25$  мкм, точність відповідала 8-ій степені точності при вихідній 9-ій по ГОСТ 1643-72. Мікротвердість поверхні зубів збільшилась на 10%, в поверхневому шарі утворились залишкові напруження величиною в 350...400 МПа.

Зношення в період припрацювання поверхні зубів, оброблених пластичним деформуванням, в порівнянні з шліфуванням зменшилась в 1,3...1,4 рази, значно підвищилась втомна згинна міцність.

Калібрування зубчастих коліс трьома накатниками характеризується високою складністю виготовлення накатної головки, а необхідність центрування оброблюваного колеса по зубу не може внести помітного виправлення вихідного радіального биття.

Найбільш розповсюджена схема накатування зубів двома накатниками в безззорному зачепленні при радіальному підтисканні накатників, рис. 1.2.б.

Така схема обробки дозволяє накатувати зубчасті колеса з осьовою подачею накатників і забезпечує можливість схрещування їх осей для коректування кута нахилу лінії зуба .

Поряд з перевагами, накатуванню зубчастих коліс еталонними накатниками притаманні недоліки. Це, головним чином, значні зусилля деформування. Ведення процесу обробки при великих зусиллях деформування з ціллю отримання високої якості зубчастих коліс, потребує створення потужного обладнання підвищеної жорсткості; йдучи цим шляхом не можна вирішити задачі обробки зубчастих коліс малої жорсткості з внутрішнім зубом, а також термічно зміцнених зубчастих коліс.

Таким чином, зміцнювальна обробка зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням сприяє більш повному використанню резерва міцності матеріалу зубчастих коліс шляхом покращення фізико-хімічних характеристик поверхневого шару зубів, тобто покращуються експлуатаційні властивості зубчастих коліс.

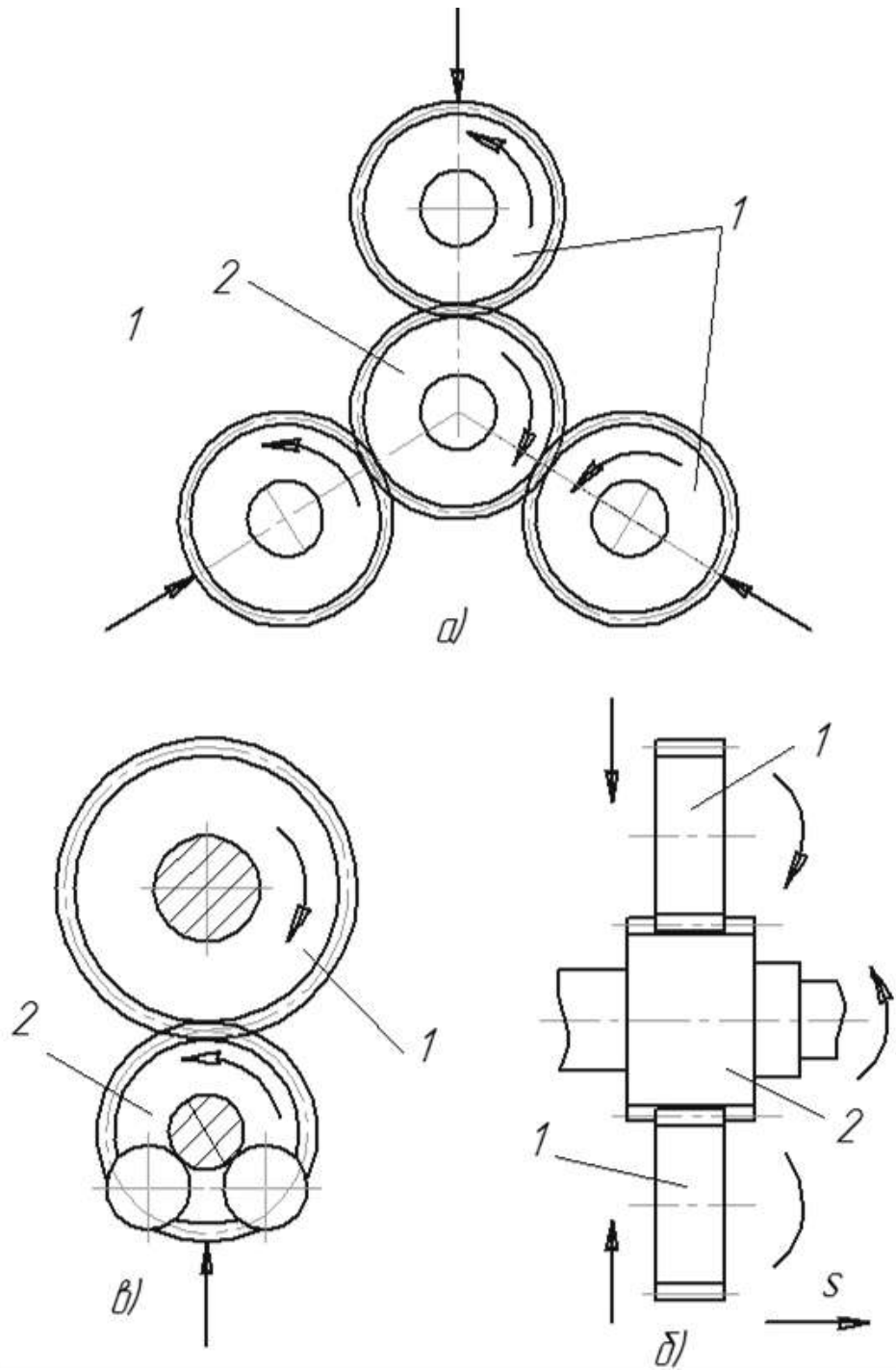


Рисунок 1.2 - Схеми накатування зубчастих коліс

- а – трьома накатниками;
- б – двома накатниками;
- в – одним накатником.

З підвищенням твердості матеріалу зубів загальна тенденція більш повного використання міцнісних характеристик матеріалу зубчастих коліс збільшується, збільшується вплив мікрорельєфу поверхні зубів на експлуатаційні характеристики

передачі, а відповідно, збільшується і роль управління утворенням мікрорельєфу поверхні зубів в процесі фінішної обробки.

Таблиця 1.1 – Якісний аналіз методів викінчування зубчастих коліс

Метод обробки	Технологічні особливості					Особливості якості припрацювання		
	Модуль, мм	Твердість	Продуктивність	Зусилля припрацювання	Стійкість інструменту	Точність	Фізико-мех. властивості	Мікрогеометрія
Зубошліфування	1...10	65	-	++	-	++	-	-
Шевінгування	2...10	35	+	+	-	++	+	-
Зубохонінгування	2...6	65	++	++	-	-	+	+
Притирка, припрацювання	18	60	-	++	+	+	+	+
Калібрування накатниками	3...10	40	++	-	++	+	++	+
Накатування роликами	6...12	40	+	-	+	-	++	+

Примітка: ++ – високий рівень показника

- – низький рівень показника.

Розглянуті схеми зміцнювальної обробки зубчастих коліс не забезпечують утворення одночасно заданого оптимального мікрорельєфу поверхні і необхідних фізико-хімічних властивостей поверхневого шару. Характеристика методів викінчування поверхонь зубів подана у табл. 1.1.

Аналіз способів зменшення зусиль деформування при зміцнювальній обробці пластичним деформуванням визначає два основних напрямки: зменшення площі контакту деформуючого елемента з оброблювальною деталлю; інтенсифікація процесу шляхом удосконалення кінематики руху деформуючого елемента.

Природно припустити, що зміною тільки силового режиму процесу в значних межах не можна розширити можливості управління якістю обробки. Можливості управління процесом найбільш повно реалізуються в зменшенні силових параметрів процесу і в вдосконаленні його кінематики.

Основою нового методу обробки зубчастих коліс є аналіз вже відомих і широко розповсюджених в промисловості схем і обладнання для віброобкочування зовнішніх, внутрішніх циліндричних і фасонних поверхонь.

#### **1.4. Викінчувально-зміцнювальна обробка поверхонь вібраційним накатуванням з утворенням регулярних мікрорельєфів.**

Процес вібраційного накатування заснований на пластичній деформації поверхневого шару матеріалу оброблювальної деталі деформуючим елементом (кулька, твердосплавний або алмазний наконечник), якому, крім руху подачі, додають осциляційний рух вздовж твірної оброблювальної поверхні. На рисунку 1.3 приведені схеми реалізації процесу вібраційного накатування циліндричних (а), торцевих (б), плоских (в,г), гвинтових (д) поверхонь. Основні параметри режиму вібронакатування – зусилля деформування  $N$ , частота обертання заготовки  $n_z$ , швидкість поздовжньої подачі  $V_s$ , частота осциляцій деформуючого елемента  $n_{дв.х}$ , амплітуда коливань і радіус деформуючого елемента  $2e, r$ .

Деформуючий елемент, здійснюючи при вібронакатуванні незрівнянно більш складний рух відносно оброблюваної поверхні, ніж при обкочуванні, зминає кожен виступ мікронерівності вихідної поверхні з різних сторін як би розкочуючи метал в різних напрямках, в результаті чого опір деформуванню зменшується, а деформуюча сила зростає. З позицій дислокаційної теорії збільшення деформуючої дії з ускладненням кінематики процесу пластичного деформування пояснюється збільшенням числа площин ковзання, осередків виникнення і розвитку пластичної деформації, зменшення накопиченої енергії і опору розвитку деформацій в усіх напрямках. Залежність величини залишкових деформацій від зусилля вдавлювання при різних схемах пластичного деформування видна із рис. 1.4.

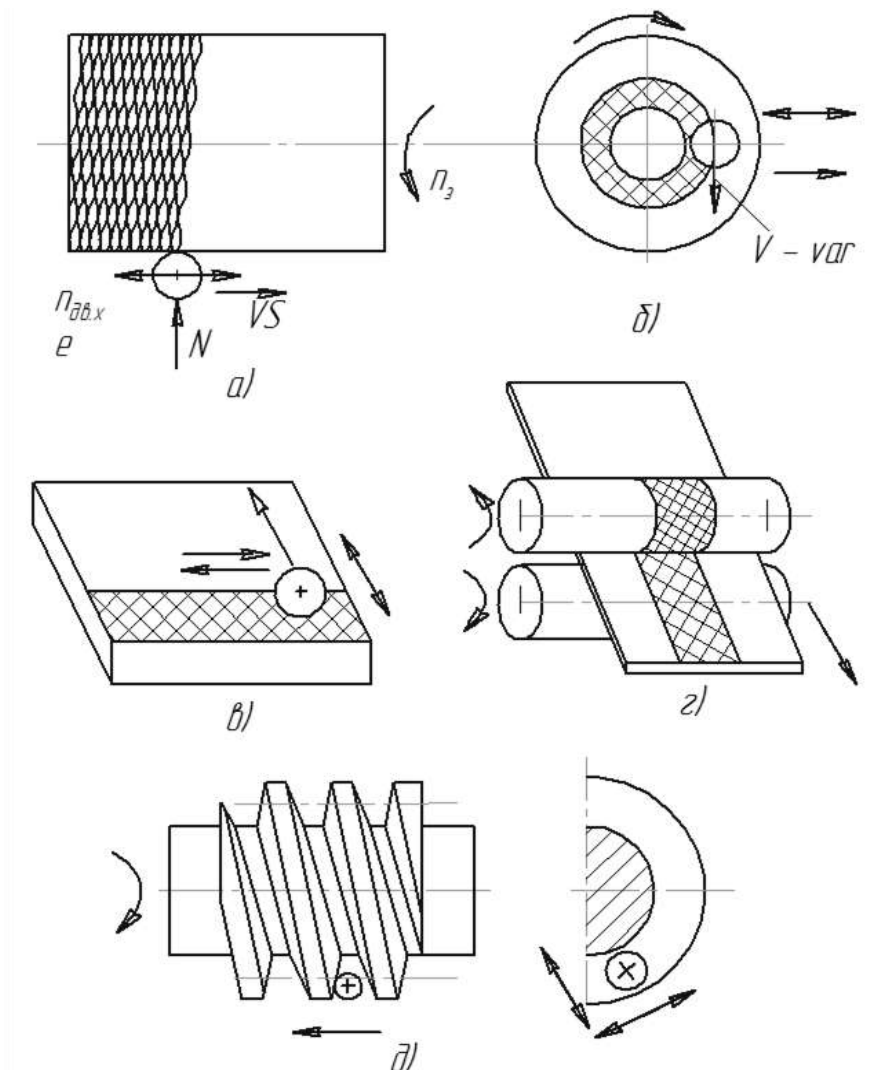


Рисунок 1.3 - Схеми процесу вібраційного накатування циліндричних (а), торцевих (б), плоских (в,г), гвинтових (д) поверхонь

Аналіз графіків показує, що з ускладненням траєкторії переміщення деформуючого елемента відносно оброблюваної поверхні, при інших рівних умовах, його деформуюча дія збільшується. Ця особливість процесу вібраційного накатування має велике практичне значення. При вібронакатуванні для досягнення заданої степені деформації потрібне менше зусилля деформування  $N$  в порівнянні з накатуванням.

Другою особливістю процесу вібраційного накатування є нелінійна залежність степеня згладжування від зусилля вдавлювання деформуючого елемента в оброблювану поверхню, рис. 1.5, що потребує надійного управління утворенням мікрорельєфу поверхні і детального виявлення оптимальних умов і режимів вібронакатування.

Для обробки вібронакатуванням поверхонь з високою твердістю використовуються сферичні твёрдосплавні або алмазні наконечники (штучні або натуральні).

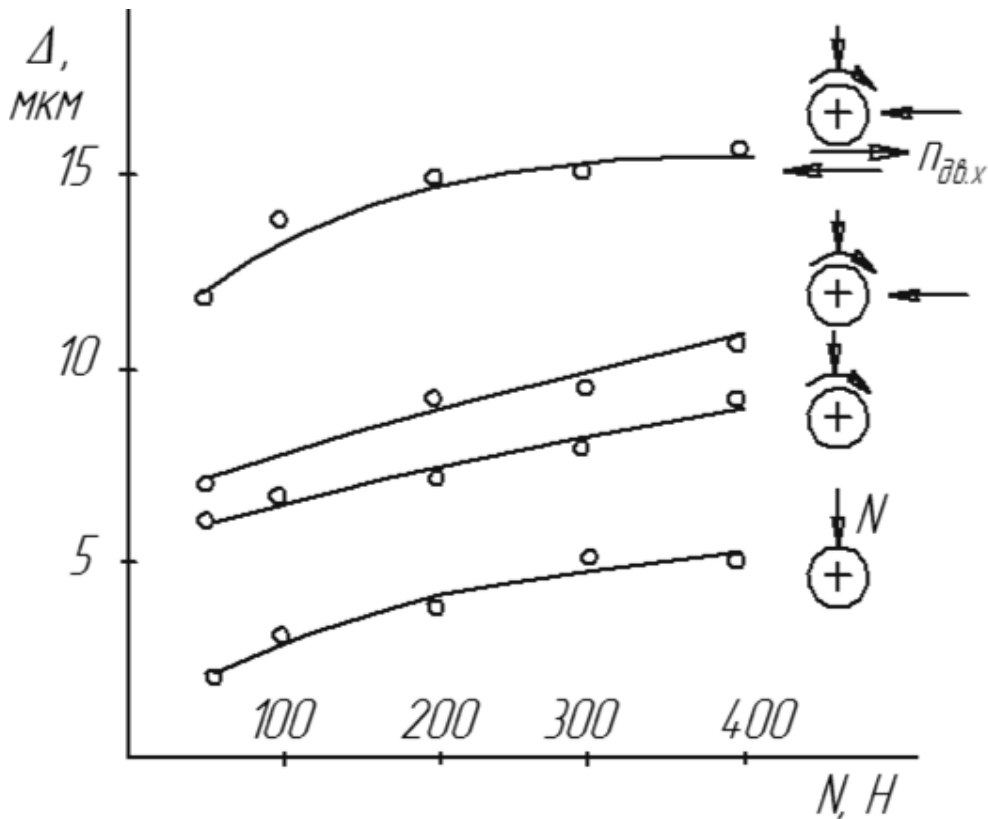


Рисунок 1.4 - Залежність залишкової деформації від зусиль деформування при різній кінематиці руху деформуючого елемента

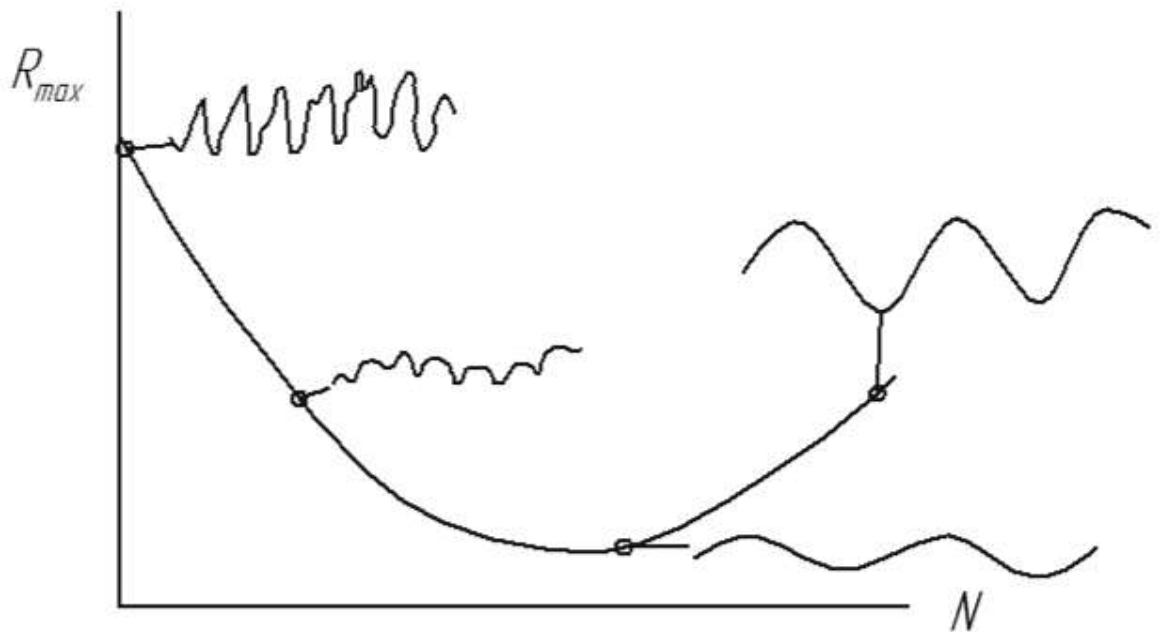


Рисунок 1.5 - Залежність висоти нерівностей від зусилля деформування при вібраційному накатування



Силова дія деформуючого елемента на оброблювану поверхню при вібронакатуванні здійснюється при пружному підтисканні останнього, що забезпечує при утворенні мікрорельєфу поверхні стабільність силової дії на вихідну поверхню і виключає вплив погрешностей установки і закріплення заготовки на якість обробки.

Кінематичні залежності, що характеризують процес вібронакатування, значно складніші, ніж при накатуванні. Ними, в основному, і визначається геометрія мікрорельєфу вібронакатаної поверхні.

В силу специфіки пристроїв для вібраційного накатування і раціональності здійснення процесу варіюванням частотою обертання заготовки  $n_z$  і швидкістю подачі деформуючого елемента  $V_s$  забезпечується утворення як повністю регулярних мікрорельєфів на поверхні (ПРМР), так і частково регулярних мікрорельєфів (ЧРМР), по ГОСТ 24773-81.

При визначеному співвідношенні значень параметрів режиму віброобкатування утворюється один із чотирьох видів мікрорельєфу поверхні за ГОСТ 24773-81.

Особливістю мікрорельєфу поверхні, що створюється вібронакатуванням, в силу його високої однорідності, є можливість аналітичного розрахунку значень параметрів мікрорельєфу, а безпосередньо зносостійкість і інші властивості поверхонь, наприклад, величину несучої здатності, площу, об'єм і розміщення видавлюваних канавок (маслоємність) і їх співвідношення.

Форма і розміри елементів мікрорельєфу поверхні, утворених вібронакатуванням при повному перекритті оброблюваної поверхні (ПРМР), відрізняється від оброблених різанням: на один-два порядки більшими радіусами виступів і впадин; значно меншим кутом нахилу твірної виступів і впадин; однаковою формою елементів мікрорельєфу як в поперечному, так і в поздовжньому напрямках. Відношення радіуса заокруглення нерівностей до їх максимальної висоти, що визначає властивості контакту, у вібронакатаних поверхонь у 12 і більше разів, ніж у накатаних, і в 75 разів, ніж шліфованих.

Таким чином, виходячи із вимог до якості поверхні, на контактних поверхнях деталей може бути створена система масло утримуючих канавок (ЧРМР) або повністю новий регулярний мікрорельєф (ПРМР) з потрібними, в залежності від умов експлуатації, параметрами, значення яких технологічно забезпечуються розрахунковими параметрами режиму вібронакатування.

Зміна фізико-хімічних характеристик поверхневого шару при вібраційному накатування має закономірності, характерні для накатування і вигладжування. Особливістю фізико-хімічних характеристик поверхневого шару після вібраційного накатування в порівнянні з накатуванням, є високі значення приросту мікротвердості поверхневого шару і залишкових напружень при меншій глибині зміцненого шару в вібронакатаних поверхнях.

Регулярний мікрорельєф поверхні і її зміцнення по-різному впливають на експлуатаційні властивості. Підвищення втомної міцності, в порівнянні з шліфуванням, вібронакатуванням зразків із сталі 45 більше на 40%. Також відмічено значне збільшення порівняно з вигладжуванням межі міцності зразків при вібронакатуванні сферичним алмазним наконечником.

Позитивний вплив утвореного вібронакатуванням мікрорельєфу на працездатність роликів підшипників кочення, контактні умови роботи яких подібні контактуванню робочих поверхонь зубів, досліджено і описано.

Ефективним технологічним рішенням, що забезпечує зменшення зносу і практично виключає схоплювання і заїдання контактуючих поверхонь, є утворення на них ЧРМР за ГОСТ 24773-81 (системи маслоутримуючих канавок).

Маслоутримуючі канавки, в залежності від умов і режиму роботи, забезпечують:

- постійне оновлення окисної або масляної плівки в контакті;
- більш інтенсивне охолодження елементів мікрорельєфу внаслідок циркуляції змазки в замкнутій системі каналів;
- затримка великодисперсних інородних частинок, що потрапляють в зону контакту, тобто виключення їх негативного впливу на процес контактування;

- більш сприятливі умови виникнення гідродинамічних мікроефектів при відносному переміщенні поверхонь і переходу граничного режиму тертя в рідинний.

Маслоутримуючий мікрорельєф віброобкатаної поверхні, в поєднання з його пологою формою і регульованою орієнтацією нерівностей, забезпечує значно менший, в порівнянні із шліфуванням та іншими традиційними методами обробки коефіцієнт тертя спокою та високу плавність взаємного переміщення поверхонь.

## 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА МОДЕРНІЗОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ

### 2.1 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь

Оброблену поверхню деталі можна розглядати як неперервну кількість послідовних положень відтворюючої лінії, так званої твірної, що рухається по другій відтворюючій лінії, що називається напрямною. При обробці поверхонь різанням, залежно від виду різального інструменту використовуються 4 методи утворення відтворюючих ліній: копіювання, огинання, сліду і дотику.

Метод копіювання заснований на тому, що різальна кромка інструменту по формі співпадає з відтворюючою лінією. Для отримання відтворюючої лінії формоутворюючих рухів не потрібно ( $\Phi=0$ ). Інструмент або заготовка отримують установчий рух врізання ( $V_p$ ).

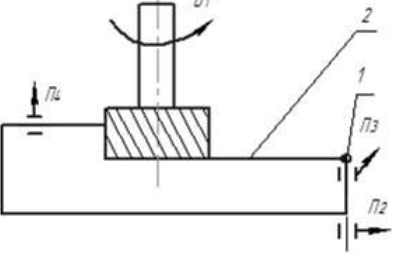
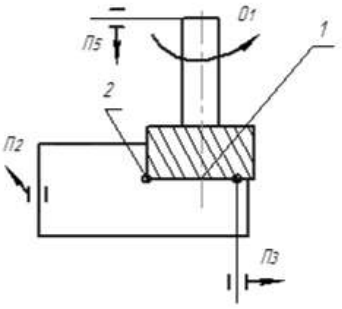
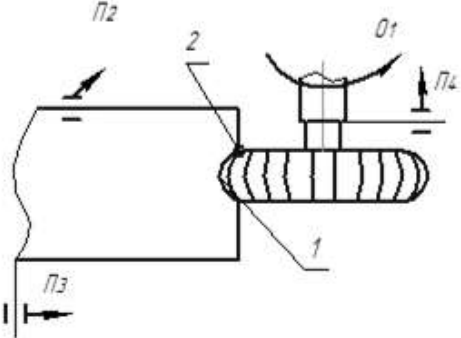
Метод обкату полягає в тому, що форма відтворюючої лінії утворюється у вигляді огинаючого ряду послідовних положень, що займає ріжуча кромка інструменту при обкатці нею без ковзання утворюваної лінії ( $\Phi=1$ ) [22].

Метод сліду полягає в тому, що форма відтворюючої лінії утворюється у вигляді сліду ріжучої кромки інструмента при відносному русі інструмента і заготовки ( $\Phi=1$ ).

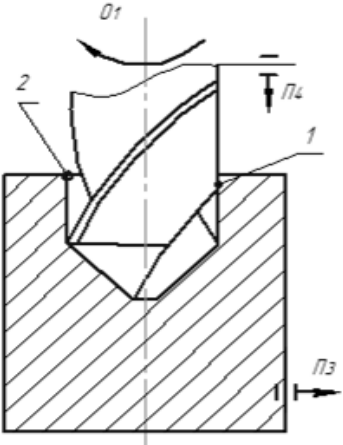
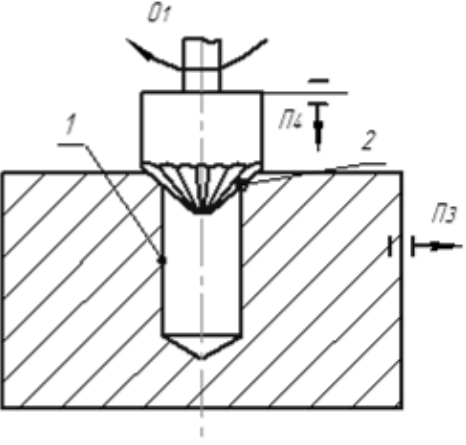
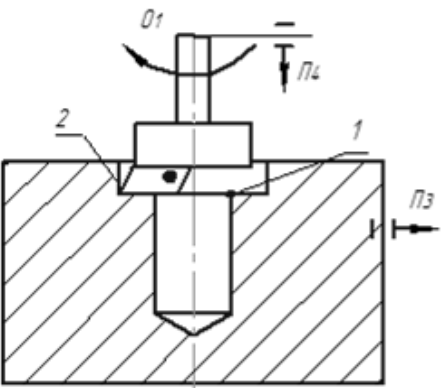
Метод дотику полягає у тому, що форма відтворюючої лінії утворюється у вигляді згинаючої місць дотику багатьох різальних кромки інструменту, що обертається, в результаті відносних рухів осі обертання інструмента і заготовки ( $\Phi=2$ ).

Схеми формоутворення, відтворюючі лінії продані в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Формоутворення поверхонь

Схема обробки	Методи Формоутворення	Формоутворюючі рухи	$\Phi_{\Sigma} = \sum \Phi$	Інші виконавчі рухи
1	2	3	4	5
<p><i>Торцеве фрезерування</i></p> 	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст.(P3) Уст.(P4)
	2 - дотик	$\Phi_V(O_1)$ $\Phi_S(P_2)$		
<p><i>Обробка уступів</i></p> 	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст.P3
	2 - дотик	$\Phi_V(O_1)$ $\Phi_S(P_2)$		
<p><i>Обробка пазів</i></p> 	1 - копіювання	$\Phi=0$	2	Уст.(P3)
	2 - дотик	$\Phi_V(O_1)$ $\Phi_S(P_2)$		

Продовження таблиці 2.1

Схема обробки	Методи формоутворення	Формоутворюючі рухи	$\Phi_{\Sigma} = \Sigma \Phi$	Інші виконавчі рухи
1	2	3	4	5
<p style="text-align: center;"><i>Свердління</i></p> 	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст.(P3)
	2 - слід	$\Phi_S(P_4)$		
<p style="text-align: center;"><i>Зенкерування</i></p> 	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст.(P3)
	2 - слід	$\Phi_S(P_4)$		
<p style="text-align: center;"><i>Розточування</i></p> 	1 - слід	$\Phi_V(O_1)$	2	Уст.(P3)
	2 - слід	$\Phi_S(P_4)$		

Виходячи із технічного завдання на проектування на верстаті повинні виконуватися наступні технологічні операції:

- фасонне фрезерування зовнішніх, внутрішніх та торцевих поверхонь;
- свердління;
- розточування;
- нарізання зовнішньої і внутрішньої різі;

## 2.2 Розробка і обґрунтування кінематичної структури верстата

Зубодовбальний верстат повинен забезпечувати обробку евольвентних криволінійних поверхонь заготовок, що кріпляться на рухомому столі, багатолезовим інструментом, який кріпиться штоселі верстата.

Збудовбальний верстат має забезпечувати прямолінійний зворотно-поступальний головних рух (рух різання)  $O_1$  – обертання інструменту, обертовий рух (кругову подачу)  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$  – горизонтальний і поперечний (радіальну подачу) та вертикальний рухи [23, 24].

Відповідно до конструкції верстата вертикальний та поперечний рух надається столу, а поперечний рух отримує шпиндельна бабка.

Верстат має два електродвигуни, від яких отримують і головний рух, і рух кругової подачі. Будуємо структурну схему верстата і подаємо її на рисунку 2.1

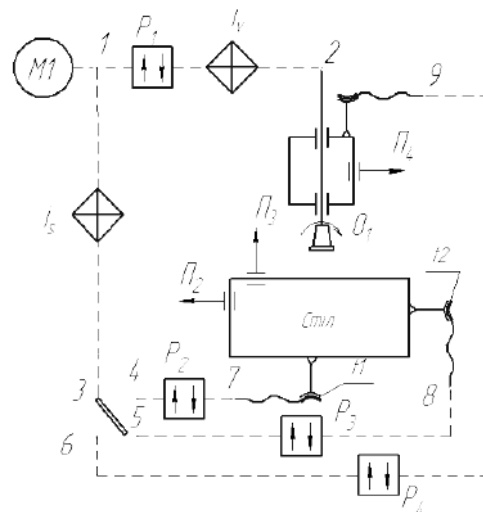


Рисунок 2.1 - Структурна схема зубодовбального верстата

На цій схемі  $P_1$  – механізм реверсування головного руху,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  – механізми реверсування рухів подач,  $i_v$  – коробка швидкостей,  $i_s$ ,  $t_1$  – ходовий гвинт радіальної подачі від профільного кулачка.

Кінематична група руху швидкості різання  $\Phi_v(O_1)$ :

$M1 \rightarrow 1 \rightarrow i_v \rightarrow 2 \rightarrow O_1$ .

Внутрішній кінематичний зв'язок – обертальна пара між шпинделем та його опорами.

Зовнішній кінематичний зв'язок:  $M1 \rightarrow 1 \rightarrow i_v \rightarrow 2$

Рух простий, із замкненою траєкторією, тому налаштовується за двома параметрами: напрямком та швидкістю (ланка налаштування  $i_v$ ).

### 2.3. Вибір компоновочної схеми верстата

Під компоновкою верстата розуміють систему розміщення вузлів і напрямних, які характеризуються конструктивними можливостями і властивостями об'єднання окремих частин і механізмів верстата. До основних факторів, які визначають компоновку верстату, можна віднести:

- режими і сили різання;
- рухи у верстата і їх поєднання;
- форму, розмір, масу заготовки;
- кількість і вид стружки;
- вид і число інструментів;
- взаємне розміщення інструменту і заготовки;
- вимоги до точності виготовлення деталей;
- число шпинделів та їх розміщення;
- ступінь стандартизації, уніфікації вузлів та деталей;
- необхідність використання завантажувально-розвантажувальних пристроїв.

При виборі схем компоновки, необхідно звертати увагу на ряд функціонально-експлуатаційних особливостей верстату.

#### 2.3.1 Визначення технологічних модулів та модульних комплексів



Побудова матриць можливих компоновок фрезерних верстатів базується на модульному комплекті, тобто найменшому складі блоків для здійснення операції обробки, який включає стаціонарний блок і ряд рухомих блоків для здійснення формоутворюючих та інших виконавчих рухів.

Вибираємо систему координат з вертикальним розташуванням осі  $Z$  і замінюємо формоутворюючі та інші рухи блоками компоновок:

$$O_1 \rightarrow C; P_2 \rightarrow X; P_3 \rightarrow Y; P_4 \rightarrow Z;$$

При обробці фрезеруванням модульний комплект має вигляд:  $MK=\{OCXYZ\}$ , де  $O$  — стаціонарний блок,  $C$  — блок інструментального шпинделя,  $X, Y, Z$  — блоки координатних переміщень.

З урахуванням того, що блок інструментального шпинделя має розрядне положення в структурній формулі крайнє справа (тобто шпиндельний блок має бути кінцевим зі сторони гілки інструмента), загальна матриця компоновок фрезерних верстатів буде мати вигляд:  $\{OXYZ\} C$ .

Тоді кількість можливих варіантів компоновок фрезерних верстатів дорівнює кількості можливих перестановок чотирьох знаків блоків  $O, X, Y, Z$  по чотирьох розрядах:  $N=4!=24$ .

### 2.3.2 Побудова загальної матриці компоновок верстатів

Найбільший вплив на тип компоновки має розряд стаціонарного блоку, який позначається 0, потім розряд вертикально рухомого блоку, який позначається 1. Це можна пояснити тим, що з розрядним розміщенням стаціонарного блоку пов'язано розподілення рухів між заготовкою і різальним інструментом, а вертикальний блок володіє деякою винятковістю: в компоновці горизонтально-рухомих блоків 2, а вертикально-рухомий – тільки один.

Оскільки розміщення четвертого блоку у формулі визначається розміщенням трьох інших, всі варіанти компоновок можуть бути відображені в тримірному просторі. Якщо ж виділити дві основні координати – розрядні розміщення стаціонарного і вертикального блоків, то можна скласти двомірну матрицю з попарним записом горизонтально-рухомих блоків.

Двомірна матриця  $\|A\|$  можливих варіантів компоновок при позначенні вертикально-рухомого блоку 1 та горизонтально-рухомого блоку  $\bar{1}$  (не вертикально-рухомий) має вигляд:

$$\|A\| = \begin{pmatrix} \bar{1}\bar{1}\bar{1}0 & \bar{1}\bar{1}0\bar{1} & \bar{1}0\bar{1}\bar{1} & 0\bar{1}\bar{1}\bar{1} \\ \bar{1}\bar{1}\bar{1}0 & \bar{1}\bar{1}0\bar{1} & \bar{1}0\bar{1}\bar{1} & 0\bar{1}\bar{1}\bar{1} \\ \bar{1}\bar{1}\bar{1}0 & \bar{1}\bar{1}0\bar{1} & \bar{1}0\bar{1}\bar{1} & 0\bar{1}\bar{1}\bar{1} \\ \bar{1}\bar{1}\bar{1}0 & \bar{1}\bar{1}0\bar{1} & \bar{1}0\bar{1}\bar{1} & 0\bar{1}\bar{1}\bar{1} \\ \bar{1}\bar{1}\bar{1}0 & \bar{1}\bar{1}0\bar{1} & \bar{1}0\bar{1}\bar{1} & 0\bar{1}\bar{1}\bar{1} \\ \bar{1}\bar{1}\bar{1}0 & \bar{1}\bar{1}0\bar{1} & \bar{1}0\bar{1}\bar{1} & 0\bar{1}\bar{1}\bar{1} \end{pmatrix}$$

Оскільки згідно із завданням ми проектуємо зубодовбальний верстат, утворимо з матриці  $\|A\|$  матрицю вертикальних компоновок шляхом заміни числового позначення блоків знаками X, Y, Z, врахувавши систему координат, що зображена на рис. 2.2.

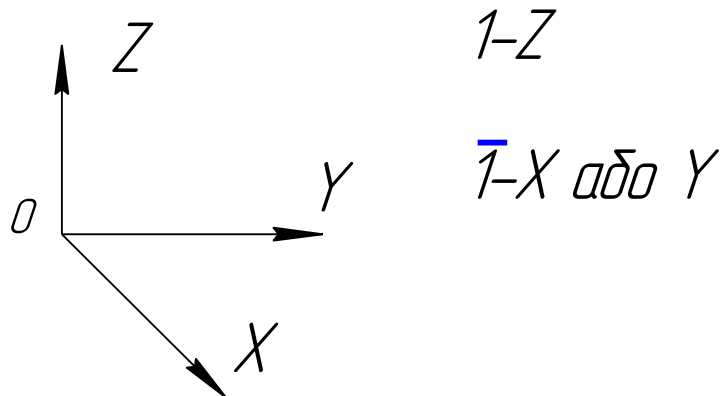


Рисунок 2.2. - Система координат, що використовується при побудові вертикальних компоновок

Матриця  $\|V\|$  матиме вигляд:

$$\|A\| = \begin{vmatrix} ZXY0 & ZX0Y & Z0XY & 0ZXY \\ ZYX0 & ZY0X & Z0YX & 0ZYX \\ YZX0 & YZ0X & Y0ZX & 0YZX \\ XZY0 & XZ0Y & X0ZY & 0XZY \\ XYZ0 & XY0Z & X0YZ & 0XYZ \\ YXZ0 & YX0Z & Y0XZ & 0YXZ \end{vmatrix}$$

### 2.3.3 Аналіз типів базових компонок

Базова компоновка — це сукупність компонок верстатів, які мають загальні риси структурного та конструктивного характеру [25]. Ознаки, за якими компоновки групуються, є структурні — для визначення основних типів і конструктивні — для визначення додаткових типів.

На тип компоновки великий вплив чинять розміри верстатів, з якими пов'язано виконання стаціонарного блоку і наявність колони (стійки).

1) Малі фрезерні верстати, як правило мають однокорпусну станину.

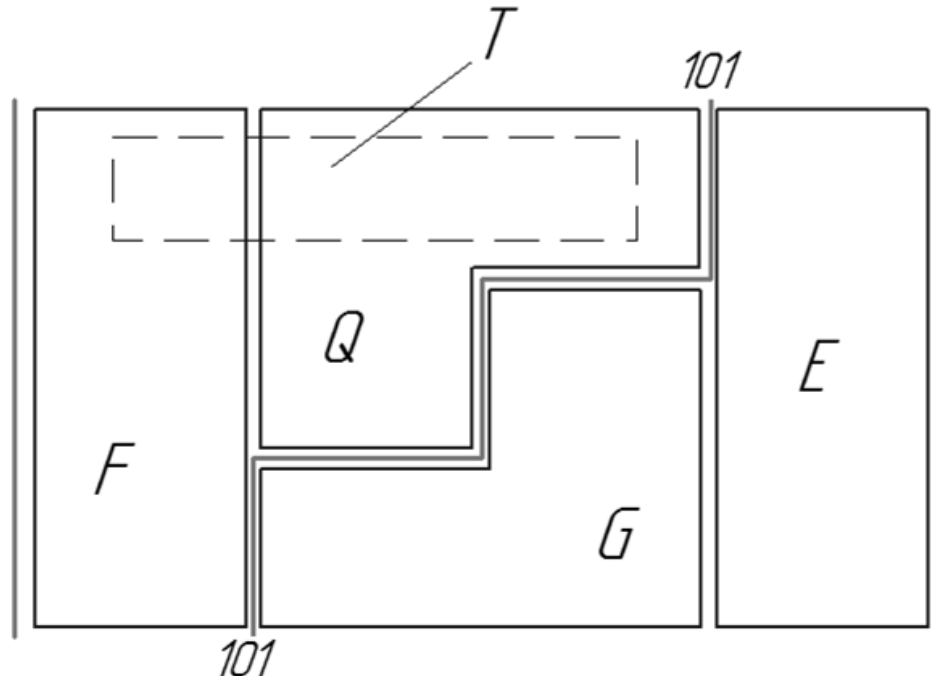


Рисунок 2.3 - Малі зубодовбальні верстати

Тип E — стіл нерухомий, а всі рухи здійснює інструмент  $E = \overline{0000}$ ;

Тип F — інструмент нерухомий, а всі рухи здійснює заготовка  $F = \overline{0000}$ ;

Тип G — інструмент має тільки вертикальне переміщення, а заготовка — горизонтальне  $G = \overline{0001} + \overline{1000}$ ;

Тип Q — інструмент має тільки горизонтальні переміщення  $Q = \overline{0001} + \overline{1000}$ ;

Тип T — компоновки, які мають тільки вертикально рухомий стіл  $T = \overline{1111}$ ;

Великі фрезерні верстати, як правило наявна стійка або рухома колона.



Рисунок 2.4 - Великі зубодовбальні верстати

Тип I — вертикально нерухомий вузол прилягає до стаціонарного (компоновки з нерухомою колоною)  $I = \overline{1101} + \overline{10111} + \overline{0111}$ ;

Тип K — стіл із заготовкою горизонтально рухомий або нерухомий (компоновки з рухомою колоною)  $K = \overline{1011} + \overline{0100}$ ;

Тип L — поздовжньо-рухомий стіл або сусідній блок, а стіл нерухомий  $L = X0\overline{XX} + 0X\overline{XX}$ ;

## 2.4 Обґрунтування умов відбору компонок і вибір раціонального варіанту

Вибір компонок верстату здійснюємо на основі умов структурного відбору, що впливають із технічного завдання, та умов на підвищення якості верстату.

Оскільки верстат повинен бути середнім за масою і обробляти відповідної ваги заготовки, то перші дві умови запишуться наступним чином:

M1.1. Вплив маси заготовки при підніманні і опусканні

Структурна ознака: заготовка має вертикального переміщення

Формула множини:  $\emptyset + \bar{1}\bar{1}01 + \bar{1}0\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0}$

M3.1. Зменшення консольних мас

Структурна ознака: горизонтально рухомий блок є початковим блоком

Формула множини:  $1\bar{1}\bar{1}0 + 0\bar{1}0\bar{0} + 0\bar{0}\bar{1}\bar{0} + 0\bar{1}\bar{1}$

Для підвищення точності позиціювання вузлів верстату запишемо наступну умову:

M3.3. Рухомі маси розподілені між двома гілками компоновки

Структурна ознака: рухомі блоки розташовані по обидва боки від стаціонарного

Формула компоновки:  $\emptyset + \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} + \emptyset$

Визначення компонок, що входять у всі множини виконуємо математичним методом знаходження перетину множин:

$$\begin{array}{r} \emptyset + \bar{1}\bar{1}01 + \bar{1}0\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\ 1\bar{1}\bar{1}0 + 0\bar{1}0\bar{0} + 0\bar{0}\bar{1}\bar{0} + 0\bar{1}\bar{1} \\ \emptyset + \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} + \emptyset \\ \hline \emptyset + \bar{1}\bar{1}0Z + \emptyset + \emptyset \end{array}$$

В результаті математичного відбору методом перетину множин всім перерахованим умовам відповідає компоновка типу  $\bar{1}\bar{1}0Z$ , замінивши в якій рухомі блоки  $\bar{1}$  на відповідні координатні переміщення, отримаємо формули компонок.

Відповідно до цього будуюмо компоновки, які зображені на рис.2.5 а, б.

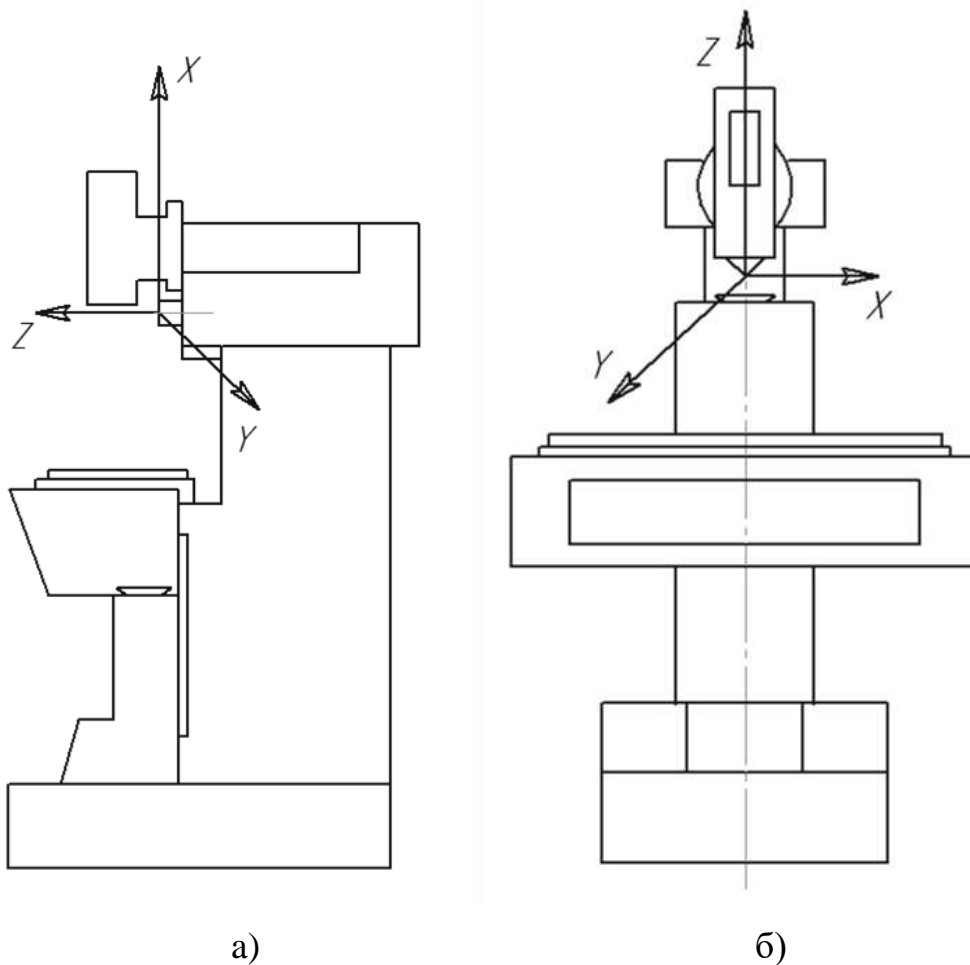


Рисунок 2.5 - Варіанти компоновки зубодовбального верстату

а) з горизонтальним розміщенням шпинделя

б) з вертикальним розміщенням шпинделя

Горизонтальный вариант  $YXOZ/V_h$ .

Вертикальный вариант  $XZOY/C_g$ .

### 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

#### 3.1. Службове призначення деталі

Деталь «Сателіт ТНд 090901» (Рис. 3.1) – це зубчасте колесо, вісь обертання якого рухома. Такі деталі використовують у планетарних передачах, як планетарні шестерні (сателіти), які обертаються навколо центральної шестерні. Також деталі такої конфігурації використовують в автомобілях як блоки шестерень заднього ходу.



Рисунок 3.1 – Деталь «Сателіт»

Деталь виготовлено з легованої сталі 40Х із загартуванням та відпуском. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу наведено в таблицях 3.1; 3.2.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 40Х (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				не більше			
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-08	0,8-1,1	0,30	0,30	0,035	0,035

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 40Х (ГОСТ 4543-71)

Переріз	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердість НВ
101-200	490	655	15	45	59	212-248

Призначення сталі 40Х ГОСТ 4543-71 - навантажені деталі, що піддаються гартуванню і відпуску: вали, осі, колінчасті вали, пальці, важелі, зубчасті колеса, відповідальні болти, шпильки.

При необхідності або відсутності даного матеріалу, можна використовувати сталі таких марок: 45Х, 38ХА, 40ХН, 40ХС, 40ХФ, 40ХР. Всі ці сталі відповідають технологічним і механічним вимогам для даної деталі.

### **3.2 Аналіз деталі на технологічність**

Аналіз технологічності проводиться для виявлення недоліків в конструкції або в технічних вимогах до деталі, щоб при необхідності внести зміни.

Шорсткість поверхні зубців  $Ra=1,25$  мкм, радіальне биття 20 мкм, деталь виготовлена по 8-й ступені точності, і працює при швидкостях 6,0 - 16 м/с.

В цілому конструкція сателіту технологічна: центральний отвір простої форми, без шліців та шпоночного пазу, наявність яких ускладнювало б конструкцію деталі. Зовнішній контур простої форми. Важкодоступних місць для обробки нема. Невелика маса (2,2 кг) дозволяє не використовувати піднімальних пристроїв. Обробка не вимагає використання спеціального обладнання, інструментів та пристроїв.

Можливо використати принцип суміщення технологічних, конструкторських та вимірювальних баз для отримання розмірів, заданих конструктором.

При обробці деталі такої конфігурації базування здійснюється за попередньо обробленим центральним отвором.

Вимірювання розмірів до відповідності кресленню можна проводити за допомогою як універсального, так і спеціального вимірювального інструменту чи пристроїв.

Але механічна обробка зубчастих коліс взагалі є нетехнологічною, так як операція нарізання зубців зі зняттям стружки пов'язана з малопродуктивними методами обробки.



Отримання заготовки для деталей типу блоку шестерень такої маси і габаритів найраціональніше отримувати штамповкою на ГKM, що дає максимальний коефіцієнт використання матеріалу. Економічне обґрунтування цього методу буде проведено в розділі 3.3.

Зміни до конструкції деталі такої конфігурації вводити недоцільно.

Для кількісної оцінки технологічності використовують коефіцієнти які показують зниження праце місткості виготовлення деталі. Числові значення коефіцієнтів технологічності повинні бути близькі до одиниці (приблизно 0,6-0,8).

Для спрощення розрахунків занесемо всі дані по поверхнях у зведену таблицю 3.3, використовуючи ескіз деталі (рис. 3.2).

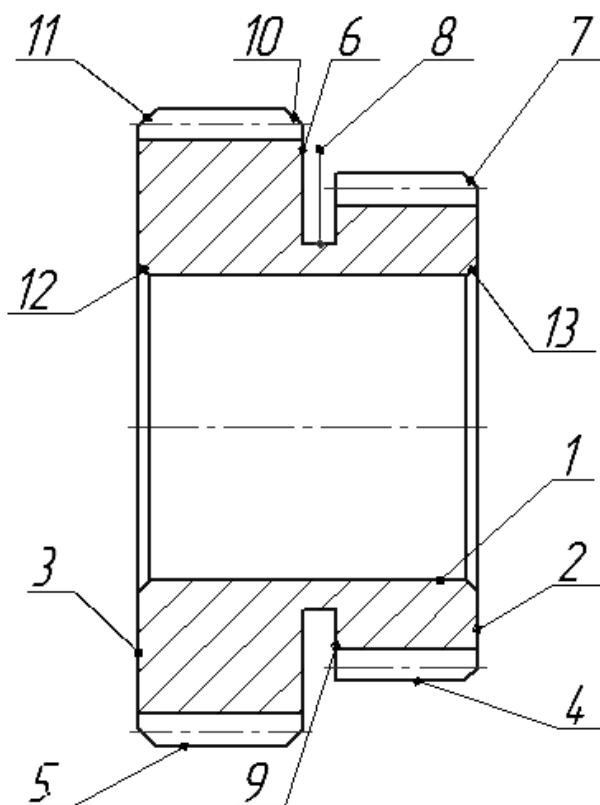


Рисунок 3.2 - Поверхні деталі

Таблиця 3.3 – Аналіз конструкційних особливостей деталі

№ пов.	Найменування поверхні, розмір, мм.	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм
1	Отвір $\varnothing 54$	K7	1,25
2	Торцева $\ell = 60$	h14	2,5
3	Торцева	h14	2,5
4	Зовнішня циліндрична (зубчатий вінець) $\varnothing 90$	H8	1,25
5	Зовнішня циліндрична (зубчатий вінець) $\varnothing 90$	H8	1,25
6	Торцева $\ell = 29$	h12	2,5
7,10,11, 12,13	Фаски	$\pm IT14/2$	3,2
8	Зовнішня циліндрична $\varnothing 65$	h14	2,5
9	Торцева $\ell = 25$	h14	2,5

Кількісна оцінка технологічності конструкції

1) Рівень технологічності деталі за точністю обробки

$$K_{\text{Тч}} = \frac{K_{\text{б.Тч}}}{K_{\text{Тч}}},$$

де  $K_{\text{б.Тч}}$  і  $K_{\text{Тч}}$  – відповідно базовий і досягнутий коефіцієнт точності обробки.

Коефіцієнт точності обробки  $K_{\text{Тч}}$  визначається за формулою:

$$K_{\text{Тч}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i},$$

де  $T_{\text{cp}}$  - середній клас точності обробки виробу;

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T n_i}{\sum n_i}$$

де  $n_i$  – число розмірів відповідного класу точності;

$T$  – клас точності обробки.

Визначимо клас точності обробки:

$$T_{\text{cp}} = \frac{14 * 9 + 12 + 8 * 2 + 7}{13} = 12,38 \text{ – середній клас}$$

$$K_{\text{б.Тч}} = 1 - \frac{1}{12,38} = 0,92$$

Робимо висновок що деталь технологічна.

2) Рівень технологічності деталі за шорсткістю поверхні:

$$K_{ш} = \frac{K_{б.ш}}{K_{ш}};$$

де  $K_{б.ш}$  і  $K_{ш}$  – відповідно базовий і досягнутий коефіцієнт шорсткості обробки.

Коефіцієнт шорсткості поверхні  $K_{ш}$  визначається за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ср}} = \frac{\sum n_{it}}{\sum Ш n_{it}},$$

де  $Ш_{ср} = \frac{\sum Ш n_{it}}{\sum n_{it}}$  – середній клас шорсткості поверхні виробу;

$Ш_{nit}$  – клас шорсткості поверхні;

$n_{it}$  – число поверхонь відповідного класу точності.

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш n_{it}}{\sum n_{it}} = \frac{3,2 \cdot 5 + 2,5 \cdot 5 + 1,25 \cdot 3}{13} = 2,48$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{2,48} = 0,60$$

3) Коефіцієнт використання матеріалу.

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою:

$$K_{вм} = \frac{M_{дет}}{M_{заг}}$$

де  $M_{дет}$  - маса деталі;

$M_{заг}$  - маса заготовки.

Маса деталі 2,2 кг, маса заготовки (штамповка) 3,1 кг (дані взяті із твердотільної моделі деталі в програмі «Компас 3D»).

Тоді коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{вм} = \frac{2,2}{3,1} = 0,71$$

Аналізуючи одержані результати відмітимо, що деталь технологічна і немає необхідності змінювати її конструкцію.

### 3.3. Аналіз типу організаційної форми виробництва

Обсяг випуску деталі «Сателіт» складає 15 тис. одиниць на рік.

За табличними даними, тип виробництва деталі, маса якої складає 2,2 кг., а обсяг виробництва 15 тис. одиниць на рік, попередньо, можна оцінити, як серійний.

Тип виробництва по ГОСТ 31118-74 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о}$ . Коефіцієнт розраховується за формулою:

$$K_{з.о} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P},$$

де  $\Sigma O$  – сумарне число різноманітних операцій;

$\Sigma P$  – сумарне число робочих місць з різноманітними операціями.

Число операцій, закріплених за одним робочим місцем, знаходимо за формулою:

$$O = \frac{60 \cdot F_M \cdot K_B \cdot K_3}{T_{шт} \cdot N_M}$$

де  $F_M = 4015/12=334,5$  год. – місячний фонд часу роботи обладнання при двозмінному режимі роботи;

$K_B = 1,3$  - середній коефіцієнт виконання норм;

$K_3$  - коефіцієнт завантаження обладнання;

$T_{шт}$  - штучний час виконання операції на даному верстаті;

$N_M$  - місячна програма випуску деталей:

$$N_M = \frac{N}{12} = \frac{15000}{12} = 1250 \text{ шт.}$$

Виконаємо розрахунок для першої операції:

$$O_1 = \frac{60 \cdot 334,5 \cdot 1,3 \cdot 0,39}{8,03 \cdot 1250} = 1,01$$

Аналогічним чином розраховуємо кількість операцій для кожного робочого місця і результати зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок кількості операцій на робочому місці

№ операції	Номер та найменування операції	$T_{шт.}$ , хв	$K_3$ , %	O
005	Токарна	8,03	39	1,01

015	Токарна	1,25	24	4,01
020	Токарна	2,68	42	3,27
025	Зубодовбальна	2,93	44	3,13
030	Зубонарізна	10,31	80	1,62
040	Шліфувальна	1,2	19	3,30
045	Шевінгувальна	3,42	52	3,17
050	Шевінгувальна	3,72	58	3,25
				$\Sigma 22,78$

Тоді:

$$K_{30} = \frac{22,78}{8} = 2,85$$

Згідно ГОСТ 14.004-83 при коефіцієнті закріплення операцій  $1 < K_{3,0} < 10$  тип виробництва – крупносерійний.

Форма організації виробничого процесу – предметно-потоккова. Розміщення технологічного обладнання – по ходу технологічного процесу.

### **3.4. Вибір та техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки**

Базуючись на габаритних розмірах деталі: діаметр 113 мм, ширина 60 мм; маса деталі - 2,2 кг; конфігурації деталі - зубчасте колесо має два зубчастих вінці, можна виділити такі методи отримання заготовки: з круглого прокату, поковкою, штамповкою на молоті в торець, штамповкою на молоті вздовж вісі, штамповкою на горизонтально-кувальній машині.

Шорсткість та коливання розмірів при кожному з методів будуть різними. Найменше значення цих параметрів з усіх перелічених методів буде при отриманні заготовки на горизонтально-кувальній машині. Заготовка отримана даним методом буде близька по формі до готової деталі. Тобто, можна отримати деталь з мінімальними припусками, що зменшує кількість операцій механічної обробки.

Але остаточно треба приймати метод отримання заготовки обґрунтувавши його ефективним використанням матеріалу та економічним ефектом кожного з методів.

Порівняємо два методи отримання заготовки для виготовлення деталі сателіт. 1-й варіант: заготовка отримана штамповкою на горизонтально-кувальній машині, 2-й варіант: заготовка отримана з прокату. Вихідні дані для розрахунку вартості заготовок зведемо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Вихідні дані для розрахунку вартості заготовок

Показники	Варіант 1	Варіант 2
Вид заготовки	Штамповка на ГKM	Прокат Ø118×70
Клас точності	4-й ГОСТ 7505-74	h12
Група складності	2	-
Маса заготовки $Q$ , кг	3,3	5,97
Вартість 1т заготовок $C_1$ , грн. (5);(6)	5200	3200
Вартість 1т відходів $S_{відх}$ , грн	1000	900

Розрахуємо собівартість заготовки отриманої штамповкою на горизонтально-кувальній машині за наступною формулою.

$$S_{заг.} = \left( \frac{C_1}{100} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх.}}{1000},$$

де  $C_1$  – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{II}$  – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва;

$Q$  – маса заготовки, кг;

$q$  – маса деталі, кг;

$S_{відх.}$  – вартість 1 т відходів, грн.

Користуючись даними таблиці 1.5:

$$q = 2,2; k_T = 1; k_C = 0,87; k_B = 0,75; k_M = 1,13; k_{II} = 1,14.$$

$$S_{\text{заг.}} = \left( \frac{5200}{100} \cdot 3,3 \cdot 2,2 \cdot 0,87 \cdot 0,75 \cdot 1,13 \cdot 1,14 \right) - (3,1 - 2,2) \cdot \frac{1000}{1000} = 13,43 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість заготовки отриманої з прокату за наступною формулою:

$$S_{\text{заг.}} = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}$$

де  $Q$  – маса заготовки, кг;

$S$  – вартість 1 кг матеріалу заготовки, грн.;

$q$  – маса готової деталі, кг;

$S_{\text{відх.}}$  – вартість 1 т відходів, грн.

Знайдемо масу заготовки з прокату:

$$V = S \cdot H = \pi \cdot r^2 \cdot H$$

$$V = 3,14 \cdot 0,59^2 \cdot 0,7 = 0,765 \text{ м}^3$$

$$Q = \rho \cdot V$$

$$Q = 7,8 \cdot 0,765 = 5,967 \text{ кг}$$

$$S_{\text{заг.}} = 5,967 \cdot 3200 - (5,967 - 2,2) \cdot \frac{900}{1000} = 19,1 - 3,4 = 15,7 \text{ грн.}$$

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу:

При отриманні заготовки штамповкою:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}$$

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{2,2}{3,1} = 0,71$$

При отриманні заготовки з прокату:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{2,2}{5,967} = 0,4$$

З розрахунків видно, що коефіцієнт використання матеріалу при штамповці на ГKM більший ніж з прокату на 27%.

Економічний ефект:

$$\varepsilon = (M_n - M_{\text{ш}}) \cdot N = (15,7 - 13,43) \cdot 15000 = 34050 \text{ грн.}$$

Остаточню приймаємо штамповку на горизонтально-кувальній машині.

### 3.5. Вибір та техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі

При розробці технологічного процесу від правильності вибору технологічних баз залежать: фактична точність виконання лінійних розмірів, призначених конструктором; правильність взаємного положення поверхонь, що обробляються; точність обробки; ступінь складності і конструкції необхідних пристосувань, ріжучих та вимірювальних інструментів; загальна продуктивність обробки заготовок.

При механічній обробці необхідно дотримуватися принципу єдності баз, тобто, прагнути к використанню однієї і тієї ж технологічної бази, не допускаючи без необхідності зміни технологічної бази.

Для отримання зубчатого колеса заданої точності за чорнову базу, яка використовується при першій установці заготовки, приймаємо торцеву поверхню більшого діаметра, а також зовнішню поверхню більшого діаметра. Ця база використовується для підготовки чистової бази, якою є центральний отвір сателіту, відносно якого необхідно обробляти всі поверхні на наступних операціях. Після чорнкової обробки всіх поверхонь відносно отвору та нарізання зубчастих вінців необхідно змінити базу для шліфування отвору. Для обробки отвору за базу приймаємо поверхню зубців на більшому діаметрі. Це дозволить нам отримати отвір необхідної точності.

Остаточо всі поверхні обробляються відносно шліфованого отвору. Для порівняння візьмемо базовий і складемо проектний варіант технологічного процесу механічної обробки деталі та представимо їх у вигляді таблиць.

Таблиця 3.6 – Базовий технологічний процес виготовлення деталі

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Токарна	Токарний вертикальний багатошпindelний напівавтомат 1К282
015	Токарна чистова	Горизонтально-розточний 2637ГФ1.
020	Токарна чистова	Гідрокопіювальний 1Н713.



025	Зубодовбальна	Зубодовбальний 5В12
030	Зубонарізна	Зубофрезерний 5М310
040	Шліфувальна	Внутрішньошліфувальний 3К228А
045	Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний 5702В
050	Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний 5702В

Таблиця 3.7 – Проектний технологічний процес виготовлення деталі

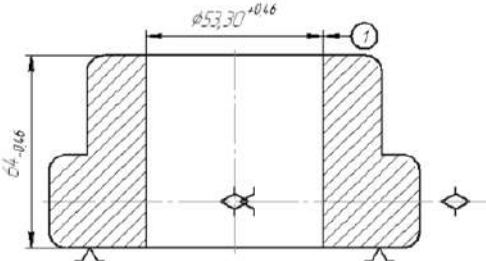
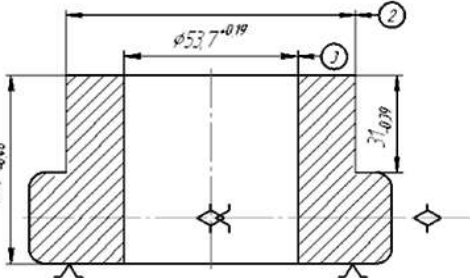
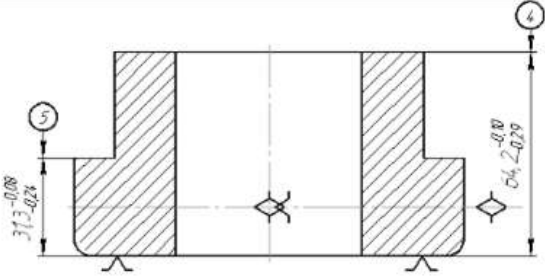
№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Токарна	Токарний вертикальний багатошпindelний напівавтомат 1К282
015	Токарна чистова	Горизонтально-розточний 2637ГФ1.
020	Токарна чистова	Гідрокопіювальний 1Н713.
025	Зубодовбальна	Зубодовбальний 5В12
030	Зубонарізна	Широкоуніверсальний 676
040	Шліфувальна	Внутрішньошліфувальний 3К228А
045	Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний 5702В
050	Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний 5702В

На основі проведеного аналізу та вибору оптимального варіанту маршруту технологічного процесу виготовлення деталі проведемо детальне проектування техпроцесу.

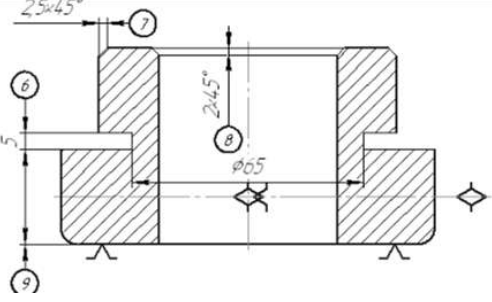
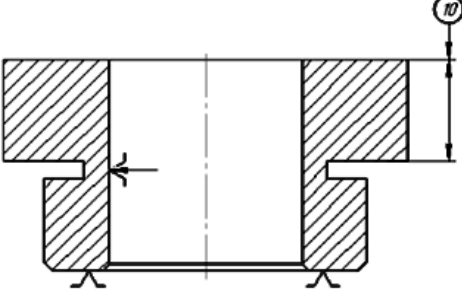
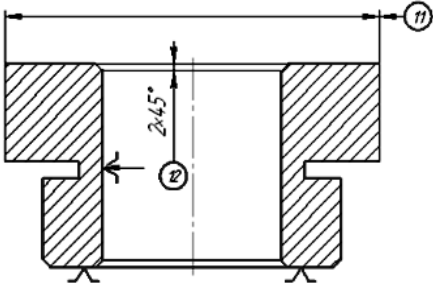
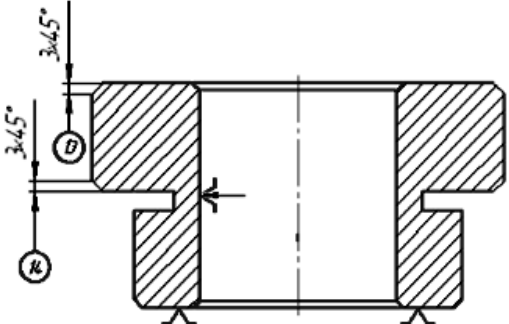
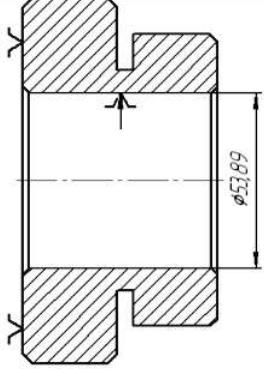
Маршрут обробки сателіту включає в себе 11 операцій, з термообробкою та постійним контролем за точністю в процесі виготовлення. Розроблений маршрут зведено до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Маршрут виготовлення сателіту

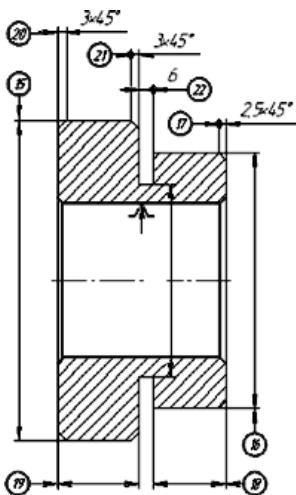
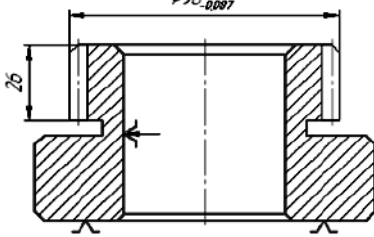
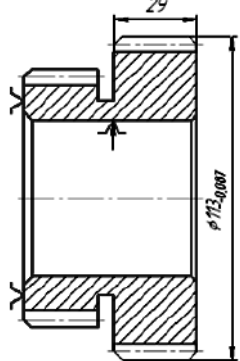
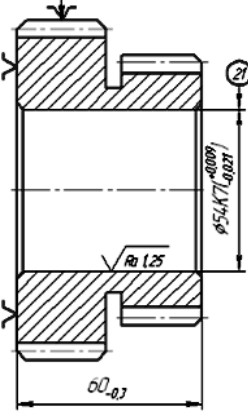
Номер, найменування та зміст операцій	Ескіз обробки, базування	Обладнання, пристрої та інструмент
005 Токарна Позиція 1. Встановити заготовку		

<p>Позиція 2. Зенкувати начорно отвір витримуючи розмір 1</p>		<p>Токарний вертикальний патронний напівавтомат. Трьохкулачковий патрон</p>
<p>Позиція 4. Точити начорно зовнішню поверхню витримуючи розмір 2. Розточити отвір витримуючи розмір 3</p>		
<p>Позиція 6. Точити начорно торцеві поверхні витримуючи розмір 4 та 5.</p>		

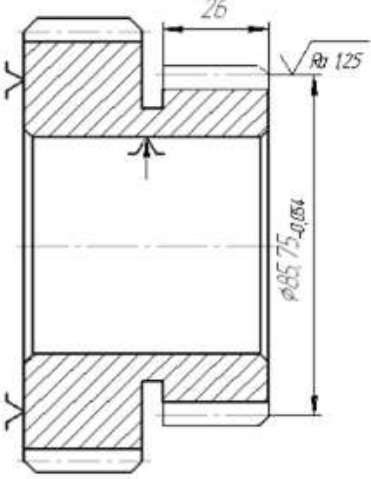
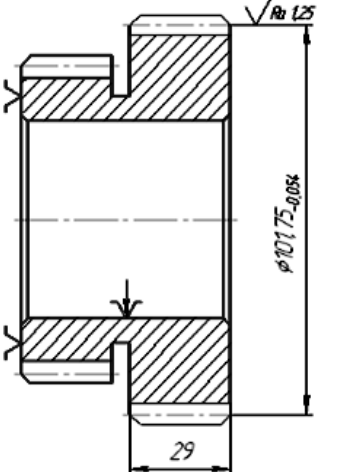
Продовження таблиці 3.8

<p>Позиція 8. Зняти дві фаски 7, 8. Зробити проточку. витримуючи розміри 6 та 9</p>		
<p>Позиція 3. Точити торцеву поверхню начорно, витримуючи розмір 10</p>		
<p>Позиція 5. Точити зовнішню поверхню, витримуючи розмір 11. Зняти фаску 12</p>		<p>Токарний вертикальний патронний напівавтомат. Оправка</p>
<p>Позиція 7. Зняти фаски 13, 14</p>		
<p>010 Контроль</p>		
<p>015 Токарна чистова. Розточити начисто отвір, витримуючи розмір</p>		<p>Горизонтально-розточний 2637ГФ1. Трикулачковий патрон</p>

## Продовження таблиці 3.8

<p>020 Токарна чистова. Точити начисто зовнішні поверхні в розмір 15 та 16. Підточити фаску 17. Точити торець, витримуючи розмір 18, точити торець, витримуючи розмір 19, та підточити фаски 20 та 21, підточити проточку 22, витримуючи розмір.</p>		<p>Гідрокопіювальний верстат 1Н713. Оправка ПТ.</p>
<p>025 Зубодовбальна. Довбання зубців на поверхні <math>\varnothing 90</math></p>		<p>Зубодовбальний верстат. Оправка ПТ. Довб'як</p>
<p>030 Зубонарізна. Нарізання зубців на поверхні <math>\varnothing 113</math></p>		<p>Широкоуніверсальний 676 Черв'ячна модульна фреза. Оправка.</p>
<p>035 Термообробка</p>		
<p>040 Шліфувальна. Шліфувати центральний отвір в розмір 15</p>		<p>Внутрішньошліфувальний верстат. Шліфувальний круг ПП. Трикулачковий патрон</p>

## Продовження таблиці 3.8

045 Зубошевінгувальна Шевінгування зубців Ø90		Зубошевінгувальний верстат. Оправка. Шевер
050 Зубошевінгувальна Шевінгування зубців Ø113		Зубошевінгувальний верстат. Оправка. Шевер
055 Контроль		Контрольний пристрій

Економічну ефективність розробленого технологічного процесу визначають шляхом економічного порівняння проектного варіанту технологічного процесу з базовим (заводським) варіантом за технологічною собівартістю.

### 3.6. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання

Вибір металорізальних верстатів залежить від типу виробництва, методу обробки поверхні або декількох поверхонь, точності та шорсткості поверхонь, припуску на обробку, розробленого технологічного процесу та економічних витрат які пов'язані з обробкою конкретної заготовки на вибраному верстаті.

Технологічний процес механічної обробки розробляється з орієнтацією на звичайні верстати – верстати без програмного управління. Після цього при необхідності можна проаналізувати ті операції на яких раціонально використати верстати з програмним управлінням за нормами допоміжного часу з метою його зменшення.

#### *Операція 005 Токарна*

Токарний вертикальний багатопшпindelний напівавтомат 1К282

Технічна характеристика верстату

Найбільший діаметр оброблювальної заготовки:	250
Кількість шпинделів	8
Кількість швидкостей шпинделя	50
Частота обертання шпинделя, об/хв.	
При нормальному виконанні	42 – 628
При швидкохідному виконанні	66 – 980
Кількість супортів	7
Подача, мм/об.	0,041 - 4,05
Потужність головного приводу, кВт	20

#### *Операція 015 Розточна*

Горизонтально-розточний 2637ГФ1.

Найбільший діаметр оброблюваної заготовки,

над станиною, мм:	320
над супортом	175
Відстань між центрами, мм	750
Найбільший діаметр оброблюваного прутка, мм	34
Кількість ступеней частоти обертання шпинделя, мм	21
Частота обертання шпинделя, об/хв.	9...1800
Найбільший переріз різців, мм	25×25
Число ступенів подачі:	

поздовжніх

поперечних	16
Подача на один оберт шпинделя, мм/об	
поздовжніх	0,065...0,91
поперечних	0,065...0,91
Потужність електродвигуна, кВт	4

*Операція 020 Токарна чистова*

Токарно-копіювальний багато різцевий напівавтомат 1Н713

Найбільший діаметр оброблюваної заготовки, мм:

над станиною 400

над супортом 250

Діаметр прутка, що проходить крізь шпиндель, мм 60

Найбільша довжина заготовки, мм 500

Частота обертання шпинделя, об/хв. 50;63;80;100;125;160;  
200;250;315; 400;500;630;800;1000

Число ступенів подач супортів:

поздовжнього (копіювального) 13

поперечного (підрізного) 12

Подача супортів, мм/ хв

поздовжнього 25...400

поперечного 25...315

Найбільший поздовжній робочій хід

копіювального супорту, мм 385

Найбільше поперечне переміщення супорту, мм

копіювального – установочне 90

робоче 30

поперечного – установочне і робоче 200

Найбільший переріз різців, мм 25×32

Потужність електродвигуна, кВт 17

*Операція 025. Зубодовбальна.*

## Зубодовбальний вертикальний напівавтомат 5B12

Діаметр оброблюваного колеса, мм	
із зовнішнім зачепленням	12...208
із внутрішнім зачепленням	220
Найбільша ширина нарізованого колеса, мм	
із зовнішнім зачепленням	50
із внутрішнім зачепленням	30
Модуль, мм	1...4
Число подвійних ходів за хвилину	200;315;425; 600
Кругові подачі на подвійних хід довб'яка, мм	0,10; 0,12; 0,15; 0,20; 0,24;
0,30;	
Радіальна подача, мм	0,1...0,3 від Скр.
Найбільший діаметр довб'яка, мм	75
Потужність електродвигуна, кВт	1,5

*Операція 030 Зубонарізна*

## Широкоуніверсальний 5M310

Діаметр оброблюваного колеса, мм	200
Найбільший модуль по сталі, мм	4
Ширина колеса, мм	200
Найбільший діаметр черв'ячної фрези, мм	125
Конус Морзе шпинделя фрези	№3
Число швидкостей шпинделя фрези	9
Число обертання шпинделя фрези, об/хв.	150...1630
Подача стола:	
вертикальна, мм/об	0,8...5
радіальна, мм/хв.	0,5...20
тангенціальна, мм/об.	0,2...1
Потужність електродвигуна привода черв'ячної фрези, кВт	3



*Операція 040 Внутрішньошліфувальна*

Внутрішньошліфувальний верстат 3К228А

Найбільший діаметр виробу, мм	400
Розміри отвору, що шліфується, мм:	
діаметр	50...200
найбільша довжина	200
Найбільший кут повороту бабки виробу, град	30°
Найбільше поперечне переміщення шліфувальної бабки, мм:	200
Поперечне переміщення шліфувальної бабки, мм:	
вперед	60
назад	10
Найбільші розміри шліфувального круга, мм:	
Діаметр	110
Висота	63
Частота обертання шліфувального круга, об/хв.	4500;6000;9000; 12000
Поперечна подача шліфувального круга, мм/хв.	0,065...0,9
Частота обертання виробу, об/хв.	100...600
Швидкість переміщення стола при шліфуванні, м/хв.	1...7
Потужність електродвигунів, кВт	12,0

*Шевінгувальна 045 та 050*

Зубошевінгувальний верстат 5702В

Діаметр оброблюваних коліс, мм	35...320
Найбільший модуль, мм	6
Ширина зубчатого вінця, мм	10...100
Діаметр шеверу, мм	300
Найбільша ширина шеверу, мм	40
Кут повороту шпіндельної головки, град	±35°
Відстань між центрами, мм	500
Кут повороту направляючих столу в обоє сторін, град	63,5°

Частота обертання шпинделя шевера, об/хв 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200;  
250; 315; 400

Повздовжня подача, мм/хв. 18; 22,4; 28; 35,5; 45; 56; 71; 90; 118; 150;  
190; 236; 300

Радіальна подача, мм/хід стола 0,02...0,1

Потужність електродвигуна, кВт

приводу шпинделя 3

приводу подачі 0,6

### 3.7. Обґрунтування та вибір різального та контрольно-вимірювального інструменту

Дані по вибраним інструментам зводимо до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Характеристика різального інструменту

№ п.п	Операції, переходи	Інструмент	Кількість інструментів, шт
005	Чорнове точіння		
	Позиція 2	Зенкер Р6М5 ГОСТ 12489-71	1
	Позиція 3	Різець підрізний Т5К10 ГОСТ 18880-73	1

Продовження таблиці 3.9

	Позиція 4	Розточний різець Т5К10 ГОСТ 18882-73	1
		Підрізний різець Т5К10 ГОСТ 18880-73	1
	Позиція 5	Прохідний різець Т5К10 ГОСТ 18868-73	1
		Прохідний різець Т5К10 ГОСТ 18878-73	1
	Позиція 6	Підрізний різець Т5К10 ГОСТ 18880-73	1
		Підрізний різець Т5К10 ГОСТ 18880-73	1
	Позиція 7	Прохідний різець Т5К10 ГОСТ 18878-80	2
	Позиція 8	Прохідний різець Т5К10 ГОСТ 18878-80	2
		Відрізний різець Р6М5 ГОСТ 18874-73	1
015	Токарна чистова	Розточний різець Т5К10 ГОСТ 20365-78	1
020	Токарна чистова	Прохідний різець Т5К10 ГОСТ 18869-73	1
		Відрізний різець Р6М5 ГОСТ 18874-73	1
		Підрізний різець Т5К10 ГОСТ 18880-73	2
025	Зубодовбальна	Довб'як m=2,5 Т15К6 ГОСТ 9329-79	1

## Продовження таблиці 3.9

030	Зубонарізна	Фреза черв'ячна модульна $m=2,5$ Р6М5 ГОСТ 9324-80	1
040	Шліфувальна	Шліфувальний круг Е950СМ1 ПП 150×50×65, 35 м/с	1
045	Зубошевінгувальна	Шевер дисковий $m=2,5$ діаметр 180 Р6М5 ГОСТ 8570-80	1
050	Зубошевінгувальна	Шевер дисковий $m=2,5$ діаметр 180 Р6М5 ГОСТ 8570-80	1

Дані з обраних контрольно-вимірювальних інструментах та пристроях зводимо до таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Контрольно-вимірювальний інструмент та пристрої

№ п.п	Операції, переходи	Контрольно-вимірювальний інструмент	Пристрій
005	Чорнове точіння		
	Позиція 2	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, 7100-0010
	Позиція 3	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492
	Позиція 4	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, 7100-0010
	Позиція 5	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492

## Продовження таблиці 3.10

	Позиція 6	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, 7100-0010
	Позиція 7	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492
	Позиція 8	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, 7100-0010
015	Токарна чистова	Нутромір ГОСТ 10—88\НМ75	трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, 7100-0010
020	Токарна чистова	Штангенциркуль ГОСТ 166-89\ШЦ-I-125-0,05	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492
025	Зубодовбальна	Зубомір зміщення Модель 23500 ГОСТ 4446-81	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492
030	Зубонарізна	Зубомір зміщення Модель 23500 ГОСТ 4446-81	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492
040	Шліфувальна	Нутромір ГОСТ 10—88\НМ75	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, 7100-0010
045	Зубошевінгувальна	Зубомір зміщення Модель 23500 ГОСТ 4446-81	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492
050	Зубошевінгувальна	Зубомір зміщення Модель 23500 ГОСТ 4446-81	Оправка ГОСТ 16212-70\7110-0492

### 3.8. Розрахунок припусків

Розрахунок припусків аналітичним методом:

Розрахуємо припуски на механічну обробку поверхні Ø54K7, скориставшись [26]. Дані отримані під час розрахунків зводимо в таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 – Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічних переходах на обробку отвору сателіту Ø54K7

Технологічні переходи обробки поверхні Ø54K7	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{min}$	Розрахунковий розмір $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничне значення припусків, мкм	
	Rz	T	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{min}$	$d_{max}$	$2z_{min}$	$2z_{max}$
Заготовка	160	200	1490	125		49,59	1900	47,69	49,59		
Зенкерування	50	50	89,4	7,55	1855,23	53,30	460	52,84	53,30	3710	5150
Розточування	30	40	59,6		189,72	53,68	190	53,49	53,68	380	650
Розточування чистове	10	20	29,8	5	159,6	53,89	74	53,82	53,89	210	326
Шліфування	5	15			59,8	54,01	30	53,98	54,01	120	164
										4420	6290

Розрахуємо сумарне значення просторових відхилень для даної заготовки за формулою

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{зм.}^2 + \rho_{ексц.}^2},$$

де  $\rho_{зм.}$  - відхилення від співвісності, мм;

$\rho_{ексц.}$  - ексцентричність, прошитого центрального отвору по відношенню до зовнішнього контуру заготовки, мм.

Для даної заготовки  $\rho_{зм.} = 0,5$  мм, а  $\rho_{ексц.} = 1,4$  мм [1, с.71, табл.4.8]

$$\rho_z = \sqrt{0,5^2 + 1,4^2} = 1,49 \text{ мм, або } 1490 \text{ мкм}$$

Для визначення проміжних значень припусків на механічно обробку скористаємось формулою:

$$\rho_{\text{ост.}} = \rho_3 \cdot k_y,$$

де  $k_y$  - коефіцієнт уточнення форми. [1,с.73]

При чорновому точінні штампованих заготовок  $k_y = 0,06$

При чистовому точінні штампованих заготовок  $k_y = 0,04$

При шліфуванні після токарної обробки  $k_y = 0,02$

Тоді,  $\rho_{\text{ост.1}} = 1490 \cdot 0,06 = 89,4$  мкм

$$\rho_{\text{ост.2}} = 1490 \cdot 0,04 = 59,6 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{ост.3}} = 1490 \cdot 0,02 = 29,8 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_1 = 125 \text{ мкм}; \quad \varepsilon_2 = 0,06 \cdot \varepsilon_1 + \varepsilon_{\text{інд}} = 0,06 \cdot 125 + 0,05 = 7,55 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_{\text{інд}} = 0,05, \quad \varepsilon_4 = 0,04 \cdot \varepsilon_1 = 0,04 \cdot 125 = 5$$

Розрахуємо мінімальний припуск на обробку  $2z_{\text{min}}$

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot \left( Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \text{ мкм},$$

Для I – го переходу

$$2z_{\text{min заз}} = 2 \cdot \left( 160 + 200 + \sqrt{1490^2 + 125^2} \right) = 2 \cdot 1855,23 \text{ мкм}$$

Для II – го переходу

$$2z_{\text{min заз}} = 2 \cdot \left( 50 + 50 + \sqrt{89,4^2 + 7,6^2} \right) = 2 \cdot 189,72 \text{ мкм.}$$

Для III – го переходу

$$2z_{\text{min заз}} = 2 \cdot \left( 30 + 40 + \sqrt{59,6^2 + 5^2} \right) = 2 \cdot 159,6 \text{ мкм.}$$

Для IV – го переходу

$$2z_{\text{min(зінз)}} = 2 \cdot \left( 5 + 15 + \sqrt{29,8^2 + 0^2} \right) = 2 \cdot 59,8 \text{ мкм.}$$

Розрахунковий розмір:

$$d_{\text{mini}} = d_{\text{maxi+1}} - 2z_{\text{mini+1}}$$

$$d_{p4} = 54,01 \text{ мм}$$

$$d_{p3} = d_{p4} - 2z_{\text{min4}} = 54,01 - 2 \cdot 0,0598 = 53,89 \text{ мм.}$$

$$d_{p2} = d_{p3} - 2z_{\text{min3}} = 53,89 - 2 \cdot 0,1046 = 53,68 \text{ мм}$$

$$d_{p1} = d_{p2} - 2z_{\text{min2}} = 53,68 - 2 \cdot 0,1897 = 53,30 \text{ мм.}$$

$$d_{p\text{ заз}} = d_{p1} - 2z_{\min1} = 53,30 - 2 \cdot 1,8552 = 49,59 \text{ мм.}$$

Граничний розмір:

$$d_{\min i} = d_{\max i} - T_i$$

$$d_{\min4} = d_{\max4} - T_4 = 54,01 - 0,030 = 53,98 \text{ мм.}$$

$$d_{\min3} = d_{\max3} - T_3 = 53,89 - 0,074 = 53,82 \text{ мм.}$$

$$d_{\min2} = d_{\max2} - T_2 = 53,68 - 0,190 = 53,49 \text{ мм}$$

$$d_{\min1} = d_{\max1} - T_1 = 53,30 - 0,460 = 52,84 \text{ мм}$$

$$d_{\min\text{ заз}} = d_{\max\text{ заз}} - T_{\text{заз}} = 49,59 - 1,900 = 47,69 \text{ мм}$$

Граничне значення припуску:

$$2z_{\min}^{np} = d_{\max i} - d_{\max i-1}$$

$$2z_{\min4}^{np} = d_{\max4} - d_{\max3} = 54,01 - 53,89 = 0,120 \text{ мм} = 120 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min3}^{np} = d_{\max3} - d_{\max2} = 53,89 - 53,68 = 0,21 \text{ мм} = 210 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min2}^{np} = d_{\max2} - d_{\max1} = 53,68 - 53,30 = 0,38 \text{ мм} = 380 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min1}^{np} = d_{\max1} - d_{\max\text{ заз}} = 53,30 - 49,59 = 3,71 \text{ мм} = 3710 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\max}^{np} = d_{\min i} - d_{\min i-1}$$

$$2z_{\max4}^{np} = d_{\min4} - d_{\min3} = 53,98 - 53,82 = 0,164 = 164 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\max3}^{np} = d_{\min3} - d_{\min2} = 53,82 - 53,49 = 0,326 \text{ мм} = 326 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\max2}^{np} = d_{\min2} - d_{\min1} = 53,49 - 52,84 = 0,65 \text{ мм} = 650 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\max1}^{np} = d_{\min1} - d_{\min\text{ заз}} = 52,84 - 47,69 = 5,15 \text{ мм} = 5150 \text{ мкм.}$$

Перевіримо правильність розрахунків:

$$2z_{\max4} - 2z_{\min4} = 164 - 120 = 44 \quad \delta_3 - \delta_4 = 74 - 30 = 44$$

$$2z_{\max3} - 2z_{\min3} = 326 - 210 = 116 \quad \delta_2 - \delta_3 = 190 - 74 = 116$$

$$2z_{\max2} - 2z_{\min2} = 650 - 380 = 270 \quad \delta_1 - \delta_2 = 460 - 190 = 270$$

$$2z_{\max1} - 2z_{\min1} = 5150 - 3710 = 1440 \quad \delta_{\text{заз}} - \delta_1 = 1900 - 460 = 1440$$

Номинальний припуск:

$$2z_{0\text{ ном}} = 2z_{0\min} + B_3 - B_0$$

$$2z_{0\text{ ном}} = 3710 + 1400 - 9 \approx 5200 \text{ мкм}$$



Номинальний діаметр:

$$d_{\text{ном}} = d_{\text{max}} - 2z_{\text{онно}}$$

$$d_{\text{ном}} = 54,01 - 5,2 = 48,80 \text{ мм}$$

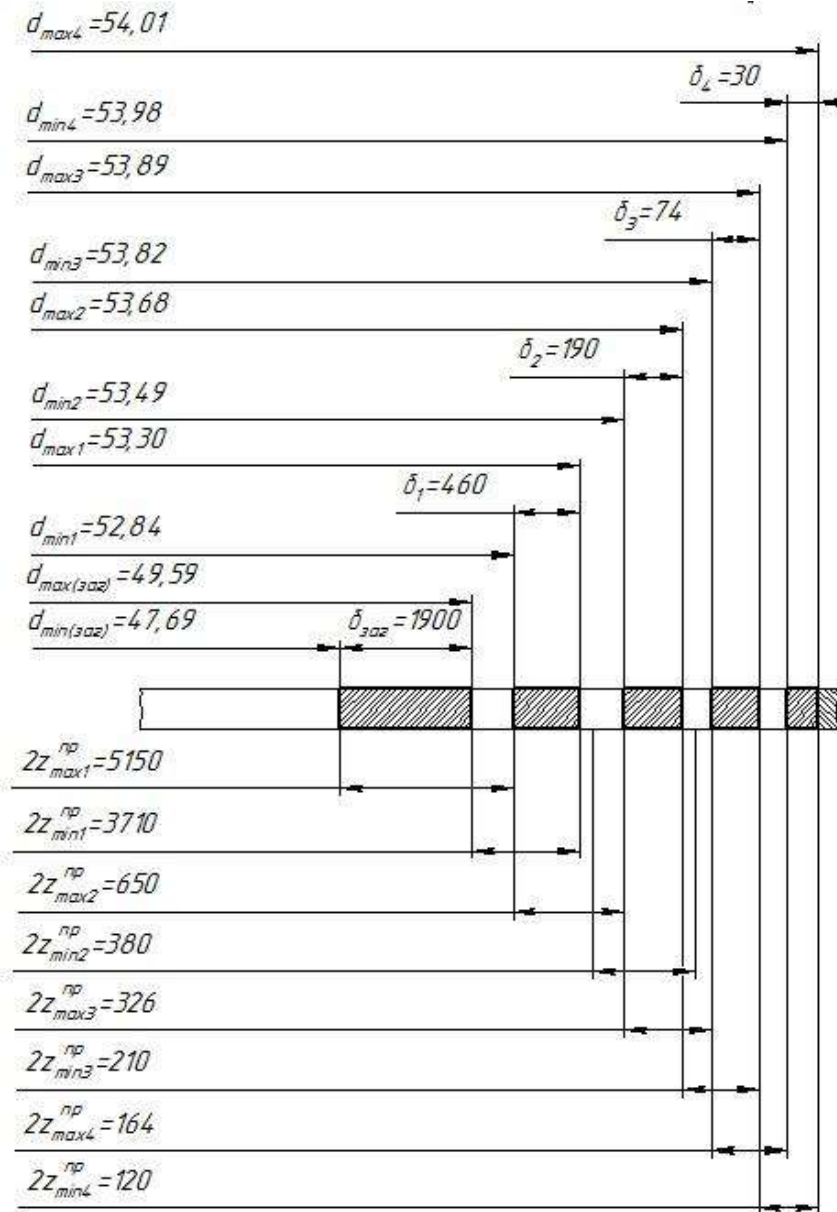


Рисунок 3.3 - Схема графічного розміщення припусків та допусків на обробку поверхні Ø54K7

Розрахунок припусків табличним методом:

На всі інші поверхні припуски та допуски вибираємо табличним методом. Користуючись ГОСТ 7505-88, масою заготовки, її габаритами та методом

отримання заготовки визначаємо вихідний індекс за допомогою якого вибираємо припуски.

Ступінь точності штамповки – 4; група складності С2; група сталі – М2; маса заготовки 3,3 кг; вихідний індекс 13. Дані вносимо до таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Припуски та допуски на оброблювані поверхні сателіту по ГОСТ 7505 – 88

Розмір, мм	Припуск, мм		Допуск, мм
	Таблич.	Розрах.	
Ø54К7	2·2,0	2·2,6	+ 1,6 - 0,9
Ø90h8	2·1,5		+ 1,6 - 0,9
Ø113h8	2·1,9		+ 1,8 - 1,0
60	2·1,8		+ 1,6 - 0,9

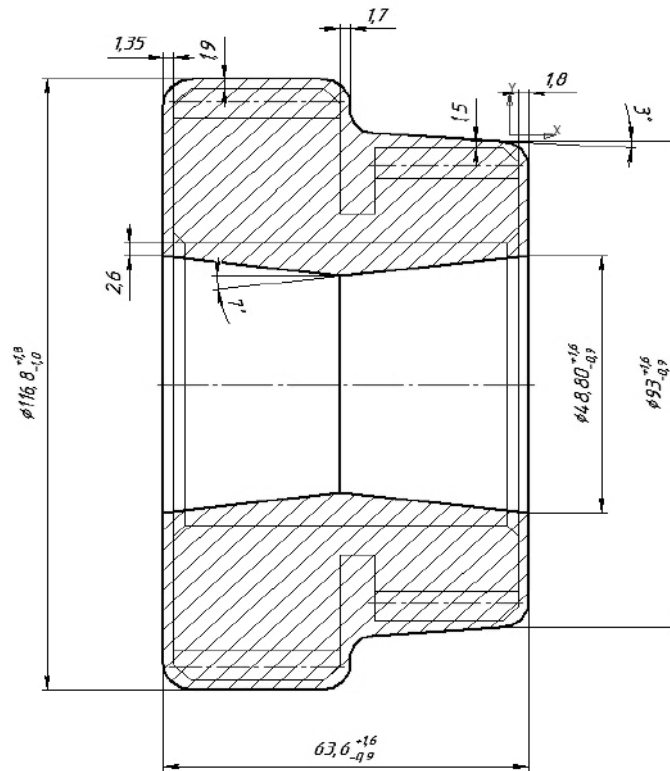


Рисунок 3.4 - Заготовка сателіту з визначеними припусками та допусками

### 3.9. Встановлення режимів різання та інструментального забезпечення для виготовлення деталі-представника «Сателіт»

Використавши [28], здійснено аналітично визначення елементів режимів різання для операції 005 – Токарна на переході «Зенкерування», а також на переході «Розточування». Окрім цього, базуючись на [2, 4], встановлені елементи режимів різання на інші операції.

Підібрані відповідні металорізальні інструменти згідно із діючими ДСТУ та ГОСТ, а також необхідні пристосування як, наприклад, трикулачковий патрон, оправка того і вимірювальний інструмент – штангенциркуль, нутромір, зубомір та інші.

Вся інформація щодо елементів режимів різання, інструментального технологічного забезпечення, оснащення та вимірювальних приладів подана у додатку 2 – Картах технологічного процесу (КТП).

### 3.10. Нормування часу

Нормування технологічного процесу в умовах серійного виробництва встановлюється розрахунково - аналітичним методом.

Розраховуємо норми штучно - калькуляційного часу на чистову токарну операцію 020, яка виконується на гідрокопіювальному верстаті 1Н713

$$T_{шт-к} = \frac{T_{n-3}}{n} + T_{шт}, хв$$

$$T_{шт-к} = T_0 + (T_{вз} + T_{зв} + T_{уп} + T_{вим}) \cdot k + T_{об.в}, хв$$

де  $T_{n-3}$  - підготовчо-заключний час, хв.;

$T_0$  - основний час, хв.;

$n$  – кількість деталей в партії, шт.;

$T_{вз}$  - час на встановлення та зняття деталі, хв.;

$T_{зв}$  - час на закріплення та відкріплення деталі, хв.;

$T_{уп}$  - час приймання керування, хв.;

$T_{вим}$  - час на вимірювання деталі, хв.;

$T_{об.в}$  - час на обслуговування робочого місця та відпочинок, хв.;

$\kappa$  – поправочний коефіцієнт.

$$T_{вз} = 0,20$$

$$T_{з.в} = 0,024 \text{ [8, с.102]}$$

Час на вмикання верстата кнопкою –  $0,01$ хв; підвести та відвести різець від деталі –  $0,05$  хв; підвести різець при знятті фаски –  $0,016$  хв; підвести різці поперечного супорту -  $0,05$  хв. Тоді:

$$T_{уп} = 0,01 + 0,05 + 0,016 + 0,05 = 0,13 \text{ хв.}$$

$$T_{вим} = 0,5 \text{ хв.}$$

Поправочний коефіцієнт на допоміжний час при серійному виробництві:

$$k = 1,85$$

Допоміжний час:

$$T_{е} = T_{вз} + T_{зв} + T_{уп} + T_{вим}, \text{ хв}$$

$$T_{е} = (0,20 + 0,024 + 0,13 + 0,5) \cdot 1,85 = 1,6 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{он} = T_0 + T_{е}, \text{ хв.}$$

$$T_{он} = 1 + 1,6 = 2,6 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок та обслуговування робочого місця складає 6% від оперативного часу:

$$T_{об.від} = \frac{2,6 \cdot 6}{100} = 0,16 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час на налагоджування верстату –  $7$  хв.; отримання інструмента та пристосування й здача його після закінчення обробки –  $10$  хв. Тоді:

$$T_{n-з} = 7 + 10 = 17 \text{ хв.}$$

Кількість деталей в партії :

$$n = \frac{N \cdot a}{254},$$

де  $N$  – програма випуску деталей, *шт.*;

$a$  – періодичність запуску в днях ( $a=6$ )

$$n = \frac{15000 \cdot 6}{254} = 354,3 \approx 354 \text{ шт.}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = \frac{17}{354} + 1 + 1,6 + 0,16 = 2,8 \text{ хв.}$$

Результати визначення часу на інші операції розраховуємо аналогічним чином. Отримані результати зведемо до таблиці.

Таблиця 3.13 - Таблиця норм часу по операціях, *хв.*

Найменування операції	То	Тв			Топ	Тоб.від	Тшт	Тп-з	п	Тш-к
		Тв.з + Тз.в	Туп	Твим						
005 Токарна поз. 2	1,27	0,12	0,03	0,17	2,2	0,132	2,52	20	354	2,59
поз. 4	0,14		0,025	0,16	1,20	0,072	1,30			
поз. 6	0,07		0,025	0,17	0,65	0,039	0,72			
поз. 8	0,17		0,026	0,13	0,68	0,041	0,74			
поз. 3	0,14	0,24	0,03	0,16	0,94	0,056	0,98			
поз. 5	0,19		0,025	0,17	1	0,06	1,1			
поз. 7	0,02		0,025	0,06	0,62	0,037	0,67			
015 Токарна	0,40	0,22	0,035	0,18	1,2	0,09	1,25	17	354	1,3
020 Токарна	1,3	0,22	0,13	0,5	2,6	0,16	2,68	17	354	2,8
025 Зубодовбальна	2,17	0,37	0,07	0,12	2,7	0,20	2,93	24	354	2,97
030 Зубонарізна	7,2	0,24	0,15	0,12	8,14	2,6	10,31	17	354	10,8
040 Шліфувальна	0,15	0,22	0,03	0,22	1,0	0,05	1,2	17	354	1,1
045 Зубошевінгувальна	2,34	0,22	0,05	0,17	3,2	0,23	3,42	17	354	3,48
050 Зубошевінгувальна	2,83	0,22	0,05	0,17	3,6	0,26	3,72	17	354	3,91

Розрахунок необхідної кількості обладнання:

Правильний вибір обладнання та раціональне його використання дозволяє виключити простої верстатів, для цього необхідно врахувати показники ступені використання кожного верстату.

Для кожного верстату у технологічному процесі повинен бути розрахований коефіцієнт завантаження та коефіцієнт використання верстату за основним часом.

Виконаємо розрахунки для токарної операції 005.

Коефіцієнт використання обладнання по основному часу  $\eta_0$  свідчить про частку машинного часу в спільному часі роботи верстата. Коефіцієнт визначається за формулою:

$$\eta_0 = \frac{T_0}{T_{\text{ш-к}}}$$

$$\eta_0 = \frac{1,27}{2,59} = 0,49$$

Визначаємо розрахункову кількість обладнання за формулою:

$$C_p = \frac{N \cdot T_{\text{ш-к}}}{60 \cdot F_p \cdot \eta_3}, \text{ шт}$$

де  $N$  – річна програма випуску, шт;

$\eta_3$  - коефіцієнт завантаження обладнання

$N = 15000$  шт.

$$C_p = \frac{15000 \cdot 2,59}{60 \cdot 1960 \cdot 0,85} = 0,39 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість верстатів  $C_{np} = 1$  шт.

Уточнюємо значення коефіцієнту завантаження верстата по формулі:

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_{np}},$$

$$\eta_z = \frac{0,39}{1} = 0,39$$

Аналогічно розраховуємо кількість обладнання та коефіцієнти на інші операції, дані зводимо в таблицю 3.14.

Таблиця 3.14 – Дані по завантаженню та використанню обладнання

Найменування операції	$T_0, хв$	$T_{ш-к}, хв$	$\eta_z, \%$	$C_{np}$	$C_p$	$\eta_0, \%$
005 Токарна	1,27	2,59	39	1	0,39	49
015 Токарна чистова	0,4	1,3	24	1	0,24	30
020 Токарна чистова	1,3	2,8	42	1	0,42	46
025 Зубодовбальна	2,17	2,97	44	1	0,44	73
030 Зубонарізна	7,2	10,8	80	2	1,6	67
040 Шліфувальна	0,15	1,1	19	1	0,19	14
045 Зубошевінгувальна	2,34	3,48	52	1	0,87	67
050 Зубошевінгувальна	2,83	3,91	58	1	0,58	72

За отриманими даними будуюмо графіки використання обладнання за основним часом та графік завантаження обладнання.

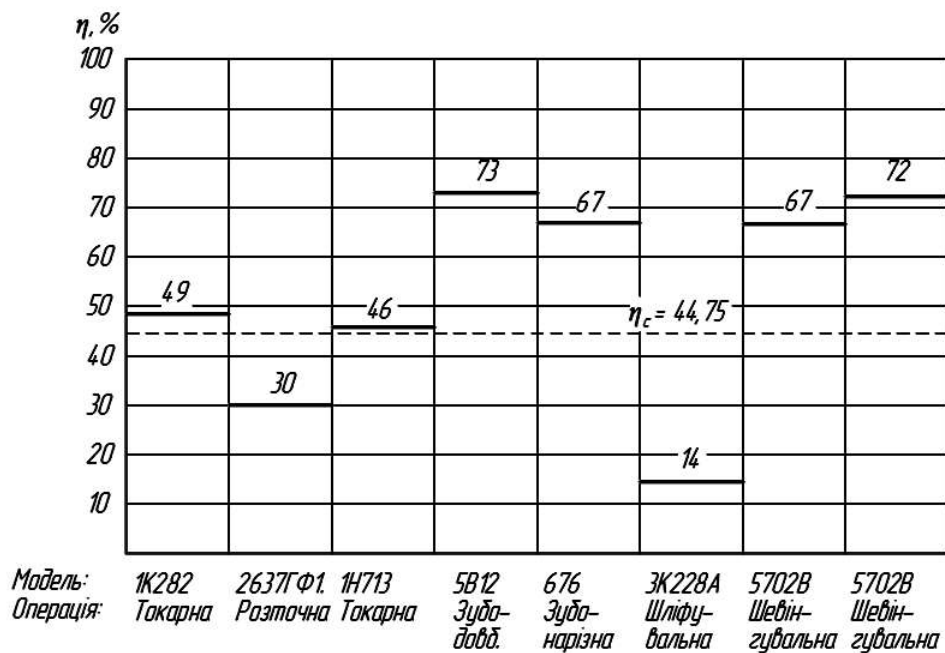


Рисунок 3.5 - Графік використання обладнання за основним часом

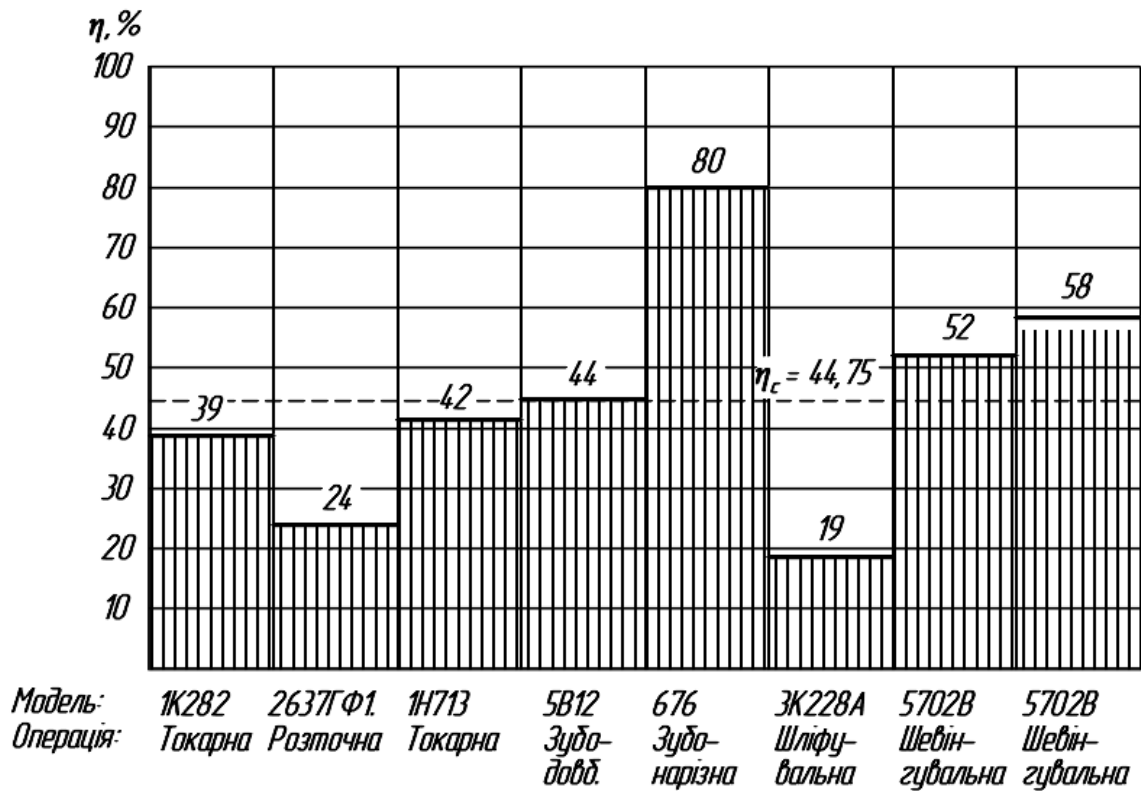


Рисунок 3.6 - Графік завантаження обладнання

Використання верстата за потужністю характеризується коефіцієнтом використання обладнання  $\eta_M$ , який дорівнює відношенню необхідної потужності на приводі верстата  $N_{np}$  до потужності встановленого на верстаті електродвигуна  $N_{cm}$ :

$$\eta_M = \frac{N_{np}}{N_{cm}}.$$

Розрахуємо коефіцієнт використання обладнання за потужністю.

$$\eta_M^{005} = \frac{0,37}{20} = 0,02; \quad \eta_M^{015} = \frac{0,19}{4} = 0,05;$$

$$\eta_M^{020} = \frac{0,16}{17} = 0,01; \quad \eta_M^{025} = \frac{0,85}{1,5} = 0,57 \quad \eta_o^{030} = \frac{1,1}{4,0} = 0,28;$$

$$\eta_M^{040} = \frac{5,2}{12} = 0,43; \quad \eta_M^{045} = \frac{0,8}{3} = 0,27;$$

Середній коефіцієнт використання обладнання за потужністю:



$$\eta_M^{сер} = \frac{0,02 + 0,05 + 0,01 + 0,57 + 0,28 + 0,43 + 0,27 + 0,27}{8} = 0,24.$$

Складаємо графік використання обладнання за потужністю.

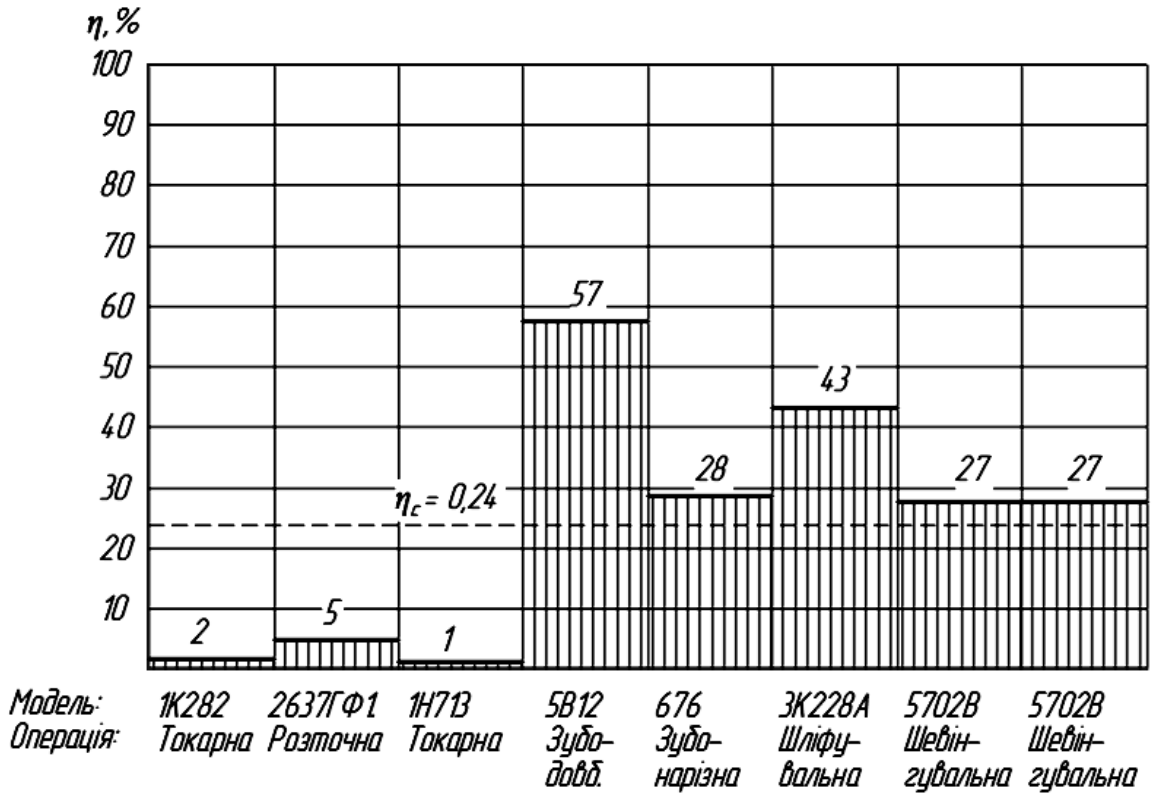


Рисунок 3.7 - Графік використання обладнання за потужністю

## 4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату

Необхідно визначити діапазон частот обертання шпинделя та потужність, яку має забезпечити верстат, що проектується.

Оскільки зубодовбальний верстат має горизонтальний та вертикальний шпинделі, розрахунок будемо виконувати для вертикального шпинделя (при встановленій вертикальній фрезерній головці), оскільки вертикальне фрезерування проходить при більш складних умовах, ніж горизонтальне, а загальна жорсткість та точність верстата нижча за рахунок додаткових механізмів фрезерної головки.

Найбільша частота обертання шпинделя потребується для обробки виробів із м'яких матеріалів, найменша частота застосовується для обробки більш твердих матеріалів.

М'яким матеріалом будемо вважати сталь вуглецеву звичайної якості, яку оброблюють фрезами із швидкоріжучої сталі.

Найтвердіший матеріал, що підлягає фрезерній обробці, – ковкий чавун. Чавуни оброблюють фрезами із вставними твердосплавними пластинами.

Визначаємо найбільший та найменший діаметри фрез за формулами

$$D_{\text{Г}} = (0,2 \dots 0,3)B_c$$

$$D_{\text{М}} = (0,1 \dots 0,2)B_c,$$

де  $B_c$  – ширина робочої поверхні стола за паспортними даними, мм.

$$D_{\text{Г}} = (0,2 \dots 0,3)260 = 80 \text{ мм};$$

$$D_{\text{М}} = (0,1 \dots 0,2)260 = 25 \text{ мм}.$$

Розраховуємо найбільшу та найменшу ширину фрезерування за формулами:

$$B_{\text{Г}} = (0,75 \dots 1)D_{\text{Г}} = 0,75 * 80 = 60 \text{ мм};$$

$$B_{\text{М}} = (0,75 \dots 1)D_{\text{М}} = 1 * 25 = 25 \text{ мм}.$$

Визначаємо за найбільшу та найменшу глибину різання при чистовому фрезеруванні[4, с.267, табл. 26]:

$$t_{\zeta} = 5 \text{ мм};$$

$$t_{\text{м}} = 0,75 \text{ мм}.$$

Призначаємо найбільшу та найменшу подачу на зуб фрези із умови чистоти поверхні обробки для найм'якшого матеріалу заготовки (вуглецевої сталі)[4, табл. 33, с.213].

$$s_z^{\zeta} = 0,6 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}};$$

$$s_z^{\text{м}} = 0,04 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}.$$

Призначаємо найбільшу та найменшу подачу на зуб фрези для твердого матеріалу заготовки:

$$s_z^{\zeta} = 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}};$$

$$s_z^{\text{м}} = 0,01 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}.$$

Визначаємо найбільшу швидкість різання для м'якого матеріалу заготовки та найменшу швидкість різання твердого матеріалу заготовки за формулою

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B u z^p} K_v,$$

де  $C_v$  та показники ступеня визначаються за довідниками нормувальника.

$$v_{\zeta} = \frac{41 * 32^{0,25}}{60^{0,2} 0,75^{0,1} 0,04^{0,4} 32^{0,15} 1} * 1 = 170 \frac{\text{м}}{\text{хв}};$$

$$v_{\text{м}} = \frac{57,4 * 60^{0,25}}{120^{0,2} 5^{0,1} 0,4^{0,4} 60^{0,15} 2^{0,1}} * 1 = 52 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Розраховуємо найбільшу та найменшу частоту обертання шпинделя за формулою

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

$$n_{\text{б}} = \frac{1000 * 170}{3,14 * 32} = 1692 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{\text{м}} = \frac{1000 * 52}{3,14 * 60} = 276 \text{ хв}^{-1}.$$

Кінематичні можливості приводу можна оцінити за діапазоном регулювання, який показує відношення максимальних і мінімальних частот обертання шпинделя.

$$D = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}},$$

де  $n_{\text{max}}$  – максимальна частота обертання шпинделя;

$n_{\text{min}}$  - мінімальна частота обертання шпинделя.

$$D = \frac{1692}{276} = 6$$

Обираємо значення знаменника ряду  $\varphi = 1,26$  за ГОСТ 9726-89. Визначаємо кількість ступенів коробки швидкостей  $z$  за формулою

$$z = \frac{\lg \frac{n_{\text{б}}}{n_{\text{м}}}}{\lg \varphi} + 1 = 8,8.$$

Приймаємо  $z = 9$ .

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{Mp},$$

де  $C_p$  та показники степеня визначаються за довідниками нормувальника.

$$P_z = \frac{10 * 82,5 * 2^{1,0} 0,4^{0,75} 32^{1,14}}{32^{1,3} 1692^{0,2}} = 375 \text{ Н.}$$

Визначаємо потужність різання за формулою

$$N_p = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{375 \cdot 170}{1020 \cdot 60} = 1,04 \text{ кВт.}$$

Визначаємо орієнтовну потужність двигуна за формулою

$$N_e = \frac{N_p}{k\eta} = \frac{1,04}{1 \cdot 0,75} = 1,39 \text{ кВт.}$$

## 4.2. Вибір потужності і типу двигунів

За максимальною частотою та орієнтовною потужністю обираємо електродвигун за каталогом.

Обираємо двигун 4A100S4У3 із частотою обертання ротора  $n = 1435 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  і потужністю  $N = 3,0$  кВт.

## 4.3. Проектування приводу головного руху

### 4.3.1. Вихідні дані для розрахунку приводу

Необхідно розрахувати привід головного руху верстата із такими параметрами:

кількість швидкостей приводу  $z_n = 9$ ;

знаменник ряду швидкостей  $\varphi = 1,26$ ;

мінімальна швидкість обертання шпинделя  $n_1 = 200 \text{ хв}^{-1}$ ;

частота обертання електродвигуна  $n_{\text{дв}} = 1435 \text{ хв}^{-1}$ .

### 4.3.2. Обґрунтування принципової конструктивної схеми

Коробки швидкостей зубодовбальних верстатів характеризуються невеликими розмірами в осьовому напрямку, горизонтальним розміщенням валів, множинною структурою коробки швидкостей, невеликою кількістю швидкостей.

Дев'ятиступеневу коробку швидкостей верстата виконаємо трьох валовою однозв'язною із структурною формулою  $z_n = 3 \times 3 = 9$ .

Рух отримується від електродвигуна через клино-пасову передачу передається на перший вал коробки швидкостей. Коробка швидкостей містить два рухомих потрійних блоки циліндричних зубчастих коліс і зв'язане колесо на проміжному валу.

Горизонтальний шпindel розміщується у рухомій шпindelній бабці, яка здійснює прямолінійний рух в осьовому напрямку. Шпindel поєднується із коробкою швидкості за допомогою широкої шестерні, яка постійно знаходиться у зачепленні із найбільшим колесом на останньому валу коробки швидкостей та із колесом, що закріплено на шпindelі.

Вертикальна шпindelна головка отримує рух від горизонтального шпинделя і може повертатися навколо вісі горизонтального шпинделя на кут  $\pm 45^\circ$  за рахунок конічної передачі.

Конічна та циліндрична зубчасті передачі вертикальної шпindelної головки призначені для передачі руху із горизонтального шпинделя на вертикальний без зміни його параметрів, тому вони мають передаточні відношення рівні 1, а кінематичний розрахунок приводу виконується для горизонтального шпинделя.

Враховуючи все вищесказане, будемо кінематичну схему приводу.

Кінематичну схему приводу головного руху подано на рисунку 4.1.

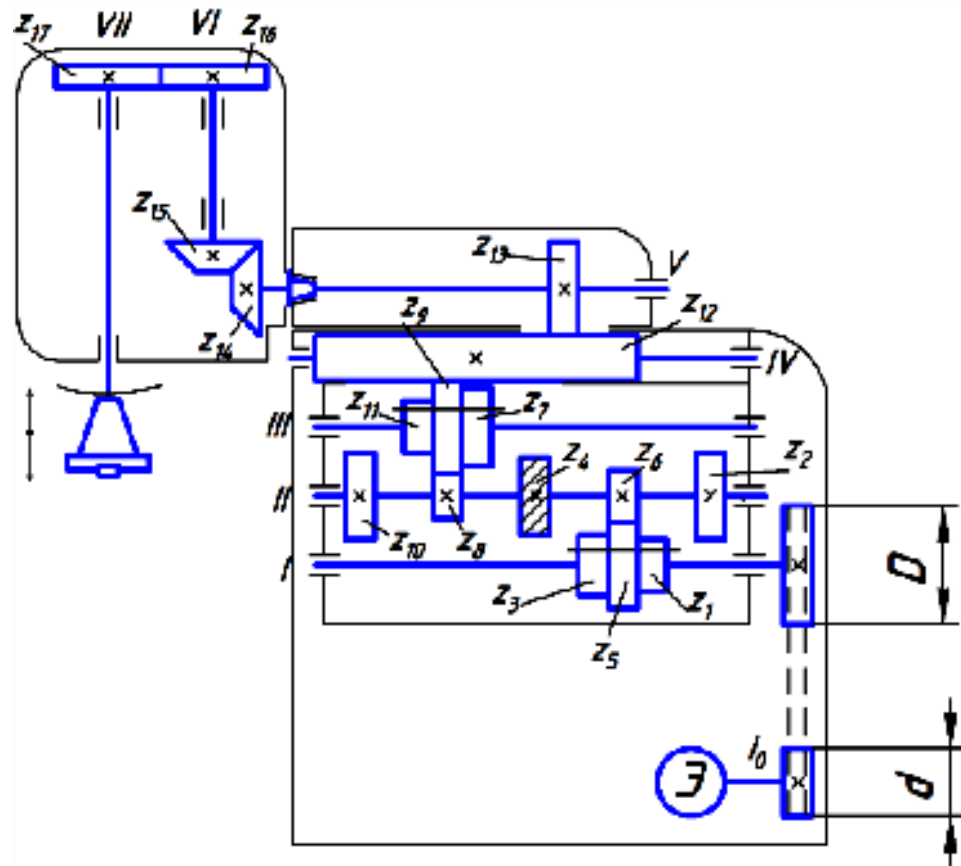


Рисунок 4.1 - Кінематична схема приводу головного руху зубодовбального верстата

### 4.3.3. Кінематичний розрахунок приводу

Для заданої структурної формули можливо два варіанти включення. Два варіанти структурних сіток приведено на рисунку 4.2.

Кінематичний розрахунок приводу виконуємо для горизонтального шпинделя.

Із двох варіантів включення обираємо перший (рис. 4.2 а), тому що він забезпечує мінімальні розміри коробки швидкостей.

Будуємо картину чисел обертання валів для цього варіанту включення і приводимо її на рисунку 4.3.

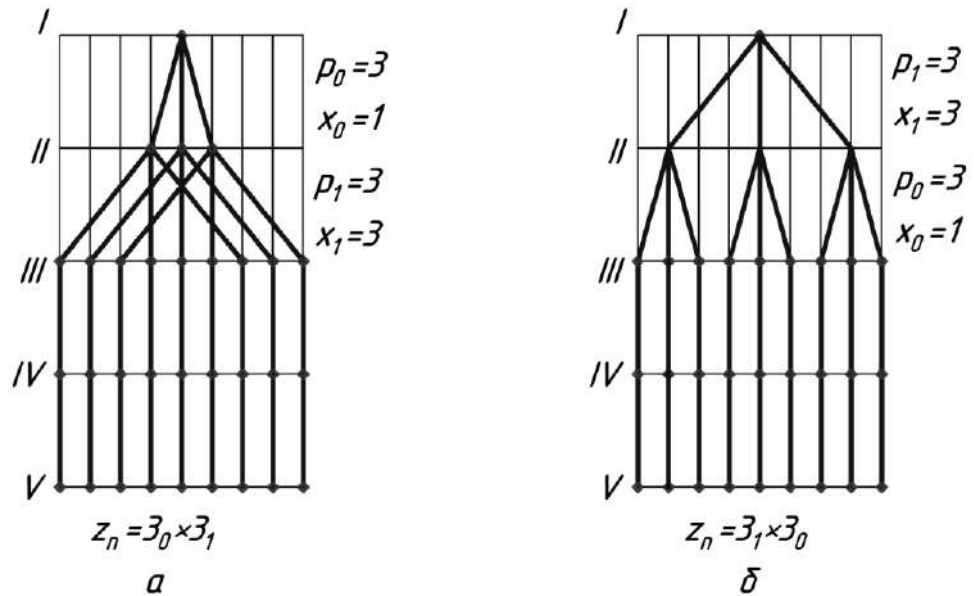


Рисунок 4.2 - Структурна сітка приводу головного руху

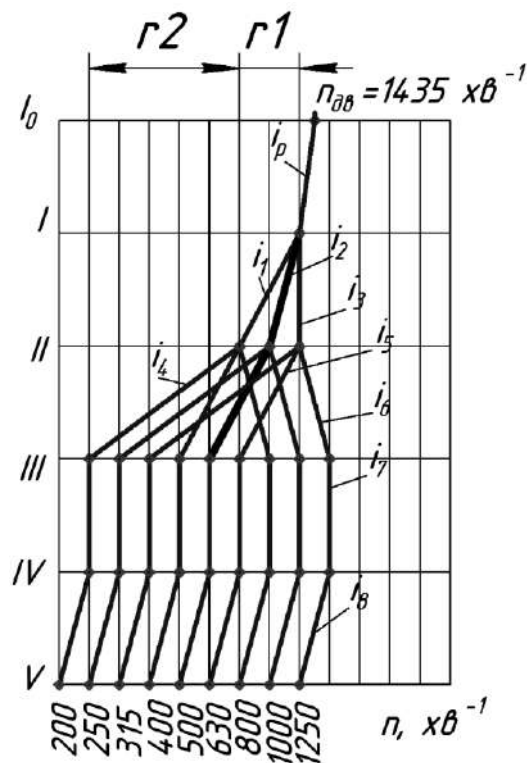


Рисунок 4.3 - Картина чисел обертання валів приводу головного руху

Коробка швидкостей має спільну шестерню<sub>4</sub> для першої та другої блочної групи. Для оптимізації радіальних розмірів коробки швидкостей необхідно раціонально розподілити передаточні відношення на зв'язані передачі. Передаточне відношення зв'язаних передач визначаємо за формулою (4.1).



$$i_{зв} = i_x \cdot i_y = \varphi^{r_1-r_2} = \varphi^{2-5} = \varphi^{-3}, \quad (2.1) \quad (4.1)$$

де  $i_x$  та  $i_y$  - передаточні відношення передач, до яких входить зв'язане колесо;  
 $r_1, r_2$  - найбільші діапазони регулювання першої та другої блочних груп відповідно.

Тоді призначаємо  $i_x = \varphi^{-1}$  та  $i_y = \varphi^{-2}$ . На графіку частот позначаємо потовщеною лінією передачі, які мають спільне колесо.

Складаємо рівняння для кінематичного розрахунку.

За картиною чисел обертів валів визначаємо передаточні відношення за наступними формулами (4.2) – (4.10).

$$i_p = \frac{d}{D} * \delta = \frac{1250}{1435} = 0,87; \quad (2.2) \quad (4.2)$$

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{\varphi^2} = 0,63; \quad (2.3) \quad (4.3)$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{\varphi} = 0,79; \quad (2.4) \quad (4.4)$$

$$i_3 = \frac{z_5}{z_6} = 1; \quad (2.5) \quad (4.5)$$

$$i_4 = \frac{z_8}{z_9} = \frac{1}{\varphi^5} = 0,31; \quad (2.6) \quad (4.6)$$

$$i_5 = \frac{z_4}{z_7} = \frac{1}{\varphi^2} = 0,63; \quad (2.7) \quad (4.7)$$

$$i_6 = \frac{z_{10}}{z_{11}} = \varphi = 1,26; \quad (2.8) \quad (4.8)$$

$$i_7 = \frac{z_9}{z_{12}} = 1; \quad (2.9) \quad (4.9)$$

$$i_8 = \frac{z_{12}}{z_{13}} = \frac{1}{\varphi} = 0,79; \quad (2.10)(4.10)$$

Із умови рівності міжцентрових відстаней передач, що входять до потрійних блоків отримуємо наступні рівняння:

$$z_1 + z_2 = z_3 + z_4; \quad (2.11) \quad (4.11)$$

$$z_1 + z_2 = z_5 + z_6; \quad (2.12) \quad (4.12)$$

$$z_4 + z_7 = z_8 + z_9; \quad (2.13) \quad (4.13)$$

$$z_4 + z_7 = z_8 + z_9. \quad (4.14)$$

Задаємося кількістю зубців найменшого зубчастого колеса на I валу, враховуючи рекомендовану мінімальну кількість зубців рівною 17 та зважаючи, що колесо має бути достатньо великим, щоб надіти його на вал.

$$z_1 = 20.$$

Призначаємо діаметр ведучого шківa пасової передачі, враховуючи розміри електродвигуна  $d = 100$  мм.

Визначаємо кількість зубів шестерні  $z_2$  із формули (4.3):

$$z_2 = z_1 \varphi^2 = 20 \cdot 1,26^2 = 31,75;$$

Приймаємо  $z_2 = 32$ .

Визначаємо кількість зубів коліс  $z_3$  та  $z_4$ . Із формули (4.4):

$$z_4 = z_3 \cdot \varphi,$$

підставляємо в (4.11):

$$\begin{aligned} z_1 + z_2 &= z_3 + z_3 \cdot \varphi; \\ z_3 &= \frac{z_1 + z_2}{\varphi + 1} = \frac{20 + 32}{1 + 1,26} = 23; \\ z_4 &= 23 \cdot 1,26 = 28,98. \end{aligned}$$

Приймаємо  $z_4 = 29$ .

Визначаємо кількість зубів коліс  $z_5$  та  $z_6$ . Із формули (4.5):

$$z_5 = z_6;$$

підставляємо в (2.12):

$$\begin{aligned} z_1 + z_2 &= 2z_5; \\ z_5 = z_6 &= \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{20 + 32}{2} = 26. \end{aligned}$$

Визначаємо кількість зубів колеса  $z_7$  із формули (4.7):

$$z_7 = z_4 \cdot \varphi^2 = 29 \cdot 1,26^2 = 46.$$

Визначаємо кількість зубів коліс  $z_8$  та  $z_9$ . Із формули (4.6):

$$z_9 = z_8 \cdot \varphi^5;$$

підставляємо в (2.13):

$$z_4 + z_7 = z_8 + z_8 \cdot \varphi^5;$$

$$z_8 = \frac{z_4 + z_7}{1 + \varphi^5} = \frac{29 + 46}{1 + 1,26^5} = 17,96;$$

Приймаємо  $z_8 = 18$ .

$$z_9 = 18 \cdot 1,26^5 = 57,16.$$

Приймаємо  $z_9 = 57$ .

Визначаємо кількість зубів коліс  $z_{10}$  та  $z_{11}$ . Із формули (4.8) маємо:

$$z_{10} = z_{11} \cdot \varphi;$$

підставляємо в (4.14):

$$z_4 + z_7 = z_{11} + z_{11} \cdot \varphi;$$

$$z_{11} = \frac{z_4 + z_7}{1 + \varphi} = \frac{29 + 46}{1 + 1,26} = 33,19;$$

Приймаємо  $z_{11} = 33$ .

$$z_{10} = 33 \cdot 1,26 = 42.$$

Визначаємо кількість зубів колеса  $z_{12}$  із формули (4.9):

$$z_{12} = z_9 = 57.$$

Визначаємо кількість зубів колеса  $z_{13}$  із формули (4.10):

$$z_{13} = z_{12} \cdot \varphi = 57 \cdot 1,26 = 71,82.$$

Приймаємо  $z_{13} = 72$ .

Визначаємо частоту обертання шпинделя для кожної швидкості за формулою (4.15).

Формула для розрахунку швидкостей обертання шпинделя у загальному вигляді:

$$n_i = n_{\text{дв}} \cdot i_p \cdot \left| \frac{i_1}{i_2} \right| \cdot \left| \frac{i_4}{i_5} \right| \cdot i_7 \cdot i_8. \quad (4.15)$$

Розраховуємо швидкості обертання шпинделя для кожного ступеня привода.

$$n_1 = 1435 \cdot 0,87 \cdot 0,79 \cdot 0,4 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 198,2 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_2 = 1435 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 250,91 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_3 = 1435 \cdot 0,87 \cdot 1,26 \cdot 0,4 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 316,14 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_4 = 1435 \cdot 0,7 \cdot 0,79 \cdot 0,79 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 391,48 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_5 = 1435 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 495,54 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_6 = 1435 \cdot 0,7 \cdot 1,26 \cdot 1,59 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 624,39 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_7 = 1435 \cdot 0,7 \cdot 0,79 \cdot 0,4 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 787,92 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_8 = 1435 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 997,36 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$n_9 = 1435 \cdot 0,7 \cdot 1,26 \cdot 1,59 \cdot 1,59 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 0,4 = 1256,68 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

#### **4.4 Розрахунок на міцність деталей і механізмів привода головного руху**

##### **4.4.1 Розрахунок навантажень, що діють на привід**

Для розрахунку деталей привода на міцність необхідно визначити навантаження, що діють на вали, зубчасті колеса, шпонки, шліці та підшипники привода.

При розрахунках на витривалість за номінальне навантаження приймають найбільше довготривале навантаження фактичного режиму. При розрахунку верстатів загального призначення середнього розміру номінальне навантаження рекомендується визначати за номінальною потужністю верстата і деякому розрахунковому числу обертів, починаючи з якого робота може тривати з використанням повної потужності.

Визначаємо положення пересувних блоків зубчастих коліс, у яких механізм буде піддаватись найбільшим навантаженням. Цим положенням буде таке, при якому передаються найбільші обертові моменти (найбільше сповільнення за структурною сіткою). Складаємо схему навантажень, що діють на привід, і наводимо її на рисунку 4.4.

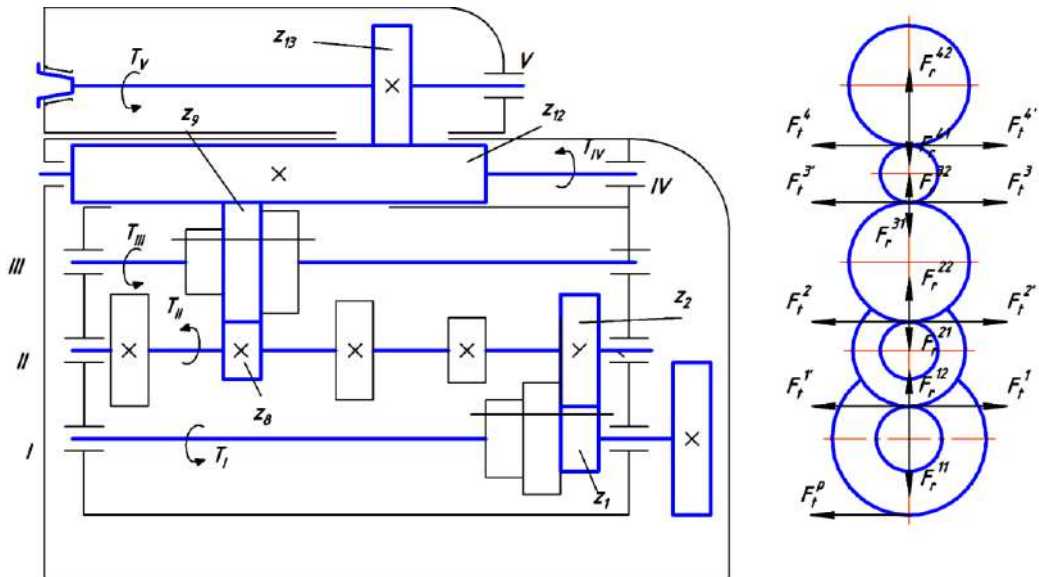


Рисунок 4.4 - Навантаження, що діють на привід

Для заданої схеми включення визначимо значення навантажень і приведемо їх у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Навантаження, що діють на привід

№ валу	Зубчаста передача						Т, Н*М	n, хв <sup>-1</sup>
	z <sub>1</sub>			z <sub>2</sub>				
	z	F <sub>t</sub> , Н	F <sub>r</sub> , Н	z	F <sub>t</sub> , Н	F <sub>r</sub> , Н		
I	34	650	237	54	650	237	22	1250
II	21	1620	590	67	1620	590	34	800
III	67	1620	590	49	1620	590	110	250
IV	49	1620	590	62	1620	590	80	315
V	-	-	-	-	-	-	120	250
I	$F_t^p = 420\text{Н}$						22	1250

#### 4.4.2 Перевірочний розрахунок зубчатих передач на згин та контактну витривалість

Перевірочний розрахунок зубчастих передач на контактну витривалість виконується за формулою (4.16).[7, с.69]

$$\sigma_H = Z_H Z_M Z_E \sqrt{\frac{2TK_{H\alpha}K_{H\beta}K_{H\nu} \cdot \frac{u+1}{u}}{bd_w^2}} \leq [\sigma_H], \quad (2.16)(4.16)$$

де  $T$  – обертовий момент на ведучому валу, Н\*мм;

$b$  – ширина зубчастого вінця, мм;

$d$  – дільний діаметр зубчастого колеса, мм;

$u$  – передаточне відношення;

$K_{H\alpha}$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження між зубів колеса.

Для прямозубих коліс  $K_{H\alpha} = 1$ ;

$K_{H\beta}$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілення навантаження по ширині зубчастого вінця;

$K_{H\nu}$  – коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження, що виникає в зачепленні, для сталевих коліс із поверхнею, загартованою ТВЧ, 8 класу точності приймають  $K_{H\nu} = 1,1$ ;  
[7, табл.3.16, с.72]

$Z_H$  – коефіцієнт, що враховує форму спряжених зубів. Для прямозубих не корегованих зубчастих коліс  $Z_H = 1,76$ ;

$Z_M$  – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів спряжених зубчастих коліс, для сталевих коліс  $Z_M = 275$  МПа;

$Z_E$  – коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній, для прямозубих зубчастих коліс  $Z_E = 1,15$ .

Допустиме напруження на контактну витривалість визначається за формулою :

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim}}{S_H},$$

де  $\sigma_{H \lim}$  – межа контактної витривалості поверхні зубів, що відповідає еквівалентному числу циклів змін напружень і обчислюється за формулою :

$S_H = 2,5$  - коефіцієнт безпеки.

$$\sigma_{H \text{ lim}} = \sigma_{H \text{ lim } b} K_{HL},$$

де  $K_{HL}$  – коефіцієнт довговічності, що враховує вплив терміну служби і режиму навантаження передачі:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{60nt_{\Sigma}}},$$

де  $N_{HO} = 10^7$  - базова кількість циклів навантаження;

$t_{\Sigma} = 14800$  год. – сумарний строк слугування деталей механізму.

Межа контактної витривалості, що відповідає базовій кількості циклів зміни напружень  $\sigma_{H \text{ lim } b}$  для коліс, із поверхнею загартованою ТВЧ складає  $\sigma_{H \text{ lim } b} = 960$  МПа.[7, табл..3.17, с.74]

Оскільки колеса рухомих блоків зубчастих коліс виконані з однакових матеріалів, доцільно розраховувати лише ті передачі, що підвернені найбільшим навантаженням.

Ширина зубчастих вінців усіх коліс  $b = 14$  мм, окрім колеса  $z_{12}$ , яке за своїми конструктивними особливостями має ширину 250 мм, а його зубці на контактну витривалість не розраховуємо.

1) Розраховуємо зубці зубчастих коліс  $z_1/z_2$ .

Визначаємо коефіцієнт довговічності:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{60 \cdot 1250 \cdot 14800}} = 0,46$$

Визначаємо допустиме контактне напруження:

$$[\sigma_H] = 960 \cdot 0,46 = 440 \text{ МПа.}$$

Визначаємо контактні напруження, що виникають в зубцях:

$$\sigma_H = 1,76 \cdot 275 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1}{14 \cdot 68^2} \cdot \frac{1,59 + 1}{1,59}} = 420 \text{ МПа} < [\sigma_H]$$

2) Розраховуємо зубці зубчастих коліс  $z_8/z_9$ .

Визначаємо коефіцієнт довговічності:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{60 \cdot 800 \cdot 14800}} = 0,57$$

Визначаємо допустиме контактне напруження:

$$[\sigma_H] = 960 \cdot 0,57 = 547,2 \text{ МПа.}$$

Визначаємо контактні напруження, що виникають в зубцях:

$$\sigma_H = 1,76 \cdot 275 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 34 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot \frac{3,2 + 1}{3,2}}{14 \cdot 42^2}} = 440 \text{ МПа} < [\sigma_H]$$

3) Розраховуємо зубці зубчастого колеса  $z_{13}$ .

Визначаємо коефіцієнт довговічності:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{60 \cdot 315 \cdot 14800}} = 0,57$$

Визначаємо допустиме контактне напруження:

$$[\sigma_H] = 960 \cdot 0,57 = 547,2 \text{ МПа.}$$

Визначаємо контактні напруження, що виникають в зубцях:

$$\sigma_H = 1,76 \cdot 275 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot \frac{1,27 + 1}{1,27}}{30 \cdot 124^2}} = 460 \text{ МПа} < [\sigma_H]$$

Перевірочний розрахунок на витривалість при згинанні виконується наступним чином.

Визначається напруження згинання зубів коліс за формулами:

$$\sigma_{F1} = Y_{F1} Y_{\beta} \frac{W_{Ft}}{m} \leq [\sigma_{F1}],$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} \leq [\sigma_{F2}],$$

де  $W_{Ft}$  – розрахункова гранична сила при розрахунку на витривалість при згинанні, визначається за формулою:

$Y_F$  – коефіцієнт, що враховує форму зуба, для прямозубих коліс без зсуву  $Y_F = 1,0$ ;

$W_{Ft}$  – гранична розрахункова окружна сила, Н/мм;



$Y_\beta = 1,0$  для прямозубих зубчастих коліс.

$$W_{Ft} = \frac{2T}{db} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv},$$

де  $K_{F\alpha}$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження між зубів колеса. Для прямозубих коліс  $K_{F\alpha} = 1$ ;

$K_{F\beta}$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілення навантаження по ширині зубчатого вінця;

$K_{Fv}$  – коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження, що виникає в зачепленні, для сталевих коліс із поверхнею, загартованою ТВЧ, 8 класу точності приймають  $K_{Fv} = 1,05$ ; [7, табл. 3.16, с. 72]

Допустиме напруження витривалості при згинанні  $[\sigma_F]$  визначається за формулою :

$$[\sigma_F] = \sigma_{F \text{ lim } b} K_{FL},$$

де  $\sigma_{F \text{ lim } b} = 900$  МПа – межа витривалості зубів при згинанні, що відповідає базовому числу змін напружень; [7, табл. 3.19, с. 78]

$K_{FL}$  – коефіцієнт довговічності, розраховується за формулою:

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{F0}}{N_{FE}}},$$

де  $N_{F0} = 4 \cdot 10^6$  – базова кількість циклів зміни напружень;

$N_{FE} = 60nt_\Sigma$  – еквівалентна кількість циклів зміни напружень.

Розраховуємо зубчасті колеса на витривалість при згинанні зубів.

1) Розраховуємо зуби зубчастих коліс  $z_1, z_2$ :

Коефіцієнт довговічності

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{60 \cdot 1250 \cdot 14800}} = 0,39$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma_F] = \sigma_{F \text{ lim } b} K_{FL} = 900 \cdot 0,39 = 351 \text{ МПа.}$$

Розрахункова окружна сила:

$$W_{Ft} = \frac{2T}{db} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} = \frac{2 \cdot 22 \cdot 10^3}{68 \cdot 14} 1 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 61 \frac{\text{Н}}{\text{мм}};$$

Напруження згину зубів:

$$\sigma_F = Y_F Y_\beta \frac{W_{Ft}}{m} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{61}{2,0} = 30,5 \text{ МПа} \leq [\sigma_F]$$

2) Розраховуємо зуби зубчастих коліс  $z_8, z_9$ :

Коефіцієнт довговічності

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{60 \cdot 250 \cdot 14800}} = 0,51$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma_F] = \sigma_{F \text{ lim } b} K_{FL} = 900 \cdot 0,51 = 460 \text{ МПа.}$$

Розрахункова окружна сила:

$$W_{Ft} = \frac{2T}{db} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} = \frac{2 \cdot 110 \cdot 10^3}{134 \cdot 14} 1 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 155 \frac{\text{Н}}{\text{мм}};$$

Напруження згину зубів:

$$\sigma_F = Y_F Y_\beta \frac{W_{Ft}}{m} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{155}{2,0} = 77,5 \text{ МПа} \leq [\sigma_F]$$

3) Розраховуємо зуби зубчастого колеса  $z_{13}$ :

Коефіцієнт довговічності:

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{60 \cdot 315 \cdot 14800}} = 0,49$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma_F] = \sigma_{F \text{ lim } b} K_{FL} = 900 \cdot 0,49 = 440 \text{ МПа.}$$

Розрахункова окружна сила:

$$W_{Ft} = \frac{2T}{db} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 10^3}{98 \cdot 14} 1 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 154 \frac{\text{Н}}{\text{мм}};$$

Напруження згину зубів:

$$\sigma_F = Y_F Y_\beta \frac{W_{Ft}}{m} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{154}{2,0} = 77 \text{ МПа} \leq [\sigma_F]$$

Висновок. За результатами розрахунків найбільш навантажених коліс можемо зробити висновок, що усі зубчасті колеса механізму витримують умову витривалості на контактні напруження та згин.

#### 4.4.3 Розрахунок шліцьових і шпонкових з'єднань

Найбільш небезпечною деформацією для шпонок і пазів є зминання від крутного моменту, визначаємо за формулою:

$$\sigma_{CM} = \frac{4T}{d \cdot l_p \cdot h} \leq [\sigma_{CM}]$$

де  $l_p$  — робоча довжина шпонки;

$d$  — діаметр вала;

$h$  — висота шпонки ;

$[\sigma_{CM}] = 150$  МПа.

Розраховуємо шпонкове з'єднання зубчатого колеса шпинделі.

$T = 80$  Н·м,  $d = 50$  мм,  $l = 36$  мм,  $h = 12$  мм,  $b = 14$  мм. Робоча довжина шпонки визначається за формулою (4.29) :

$$l_p = l - b = 36 - 14 = 22 \text{ мм}; \quad (4.29)$$

$$\sigma_{CM} = \frac{4 \cdot 80000}{50 \cdot 22 \cdot 12} = 24,24 \text{ МПа} \leq [\sigma_{CM}].$$

Розрахунок шліцьових з'єднань зазвичай зводиться до перевірного розрахунку на зминання, визначаємо за формулою:

$$\sigma_{CM} = \frac{2T}{d_c \cdot z \cdot h \cdot l \cdot \psi} \leq [\sigma_{CM}],$$

де  $T$  – розрахунковий крутний момент;

$d_c$  – середній діаметр шліцьового з'єднання,  $d_c = \frac{D+d}{2}$ ;

$z$  – кількість шліців;

$h$  – висота поверхні контакту,  $h = \frac{D-d}{2}$ ;

$\psi$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження між шліцами,  $\psi=0,7\dots0,8$ ;

$\sigma_{см}$ - допустиме навантаження на зминання робочих поверхонь,  $\sigma_{см}=20\text{МПа}$ , для сталі 45, без термообробки, для рухомих з'єднань без навантаження [7, табл.5.22].

Розраховуємо третій вал.

$T=110\text{ Нм}$ ,  $mm$ ,  $z=10$ ,  $h = 7\text{ мм}$ ,  $dс=28\text{ мм}$ ,  $l=50\text{ мм}$ .

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 110000}{28 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 50 \cdot 0,7} = 3,21\text{ МПа} \leq [\sigma_{см}].$$

## 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 5.1 Мета проведення досліджень

На даний час сучасне верстатобудування, яке було б конкурентоспроможним, вимагає підвищення якості у плані точності та довговічності металорізальних верстатів (МРВ).

Особливістю конструкції МРВ є те, що їх конструкція передбачає наявність великої кількості високоточних спряжених деталей, які забезпечують необхідну точність обробки.

Мета проведення досліджень – визначити математичні залежності між параметрами частково регулярних мікрорельєфів та провести аналіз механізму деформування поверхні зубів колеса.

### 5.2. Аналіз механізму деформування поверхні зубів колеса деформівними елементами евольвентного профіля

Розглянемо першу стадію деформування вихідних нерівностей поверхні зубів колеса.

Співвідношення розмірів деформованих поверхонь і радіуса їх кривизни дозволяє розглядати деформування виступів нерівностей як осадку із зсувом усіченого клина плоским пуансоном.

На першій стадії відбувається осадка виступів нерівностей із збільшенням площі контакту. Пластична деформація не розповсюджується в зону впадин, а локалізується в матеріалі нерівностей поверхні.

Задача осадки виступів нерівностей у вигляді клина, вирішується на основі симетричного поля ліній ковзання Прандтля.

Симетричне поле ліній ковзання Прандтля при осадці із зсувом зрізаного клина перетворюється. Типове поле для цього випадку показане на рисунку 5.1 а. Воно утворене трьома трикутними областями  $AB_3B_2$ ;  $AB-B$ ;  $BA_2A_3$  рівномірного напруженого стану і двома секторами  $AA-B_2$  і  $AB_1A_2$ .

Враховуючи, що гідростатичний тиск в трикутнику  $BA_2A_3$  і  $AB_2B_3$  дорівнює  $p_{A_3} = p_{B_3} = \tau_s$ , кут повороту  $\alpha$  – лінії ковзання  $\varphi_1 = \frac{3\pi}{4} - \theta - \eta$  і використовуючи співвідношення Генки для ліній ковзання, середній тиск на поверхні контакту визначиться за формулою:

$$p_n = \tau_s \left( 1 + \frac{3\pi}{2} - 2\eta + \sin 2\eta - 2\theta \right),$$

де  $\tau_s$  - межі міцності на зсув матеріалу зубів колеса, середньо-інтегральне значення якої в поверхневому шарі може бути визначене, з урахуванням зміцнення, за формулою:

$$\tau_s = \frac{HV}{6}$$

де  $HV$  – твердість поверхневого шару за Вікерсом після обробки на типових режимах;

$\Theta$  – кут нахилу бічних поверхонь нерівностей;

$\eta$  – кут нахилу  $\beta$ -ліній в контактній поверхні, що визначається величиною контактної тертя за відомим співвідношенням;

$$\eta = 0,5 \arccos 2\mu,$$

$\mu$  – коефіцієнт пластичного тертя.

Величина  $\mu = \frac{\tau_k}{2\tau_s}$  однозначно визначається коефіцієнтом тертя  $\psi$  і використовується в розрахунках пластичної текучості для визначення контактних напружень. Залежність між  $\mu$  і  $\psi$ , визначається за формулою:

$$\mu = 0,5\psi \left( \frac{2 + \sqrt{1 - 3\psi^2}}{1 + \psi^2} \right)$$

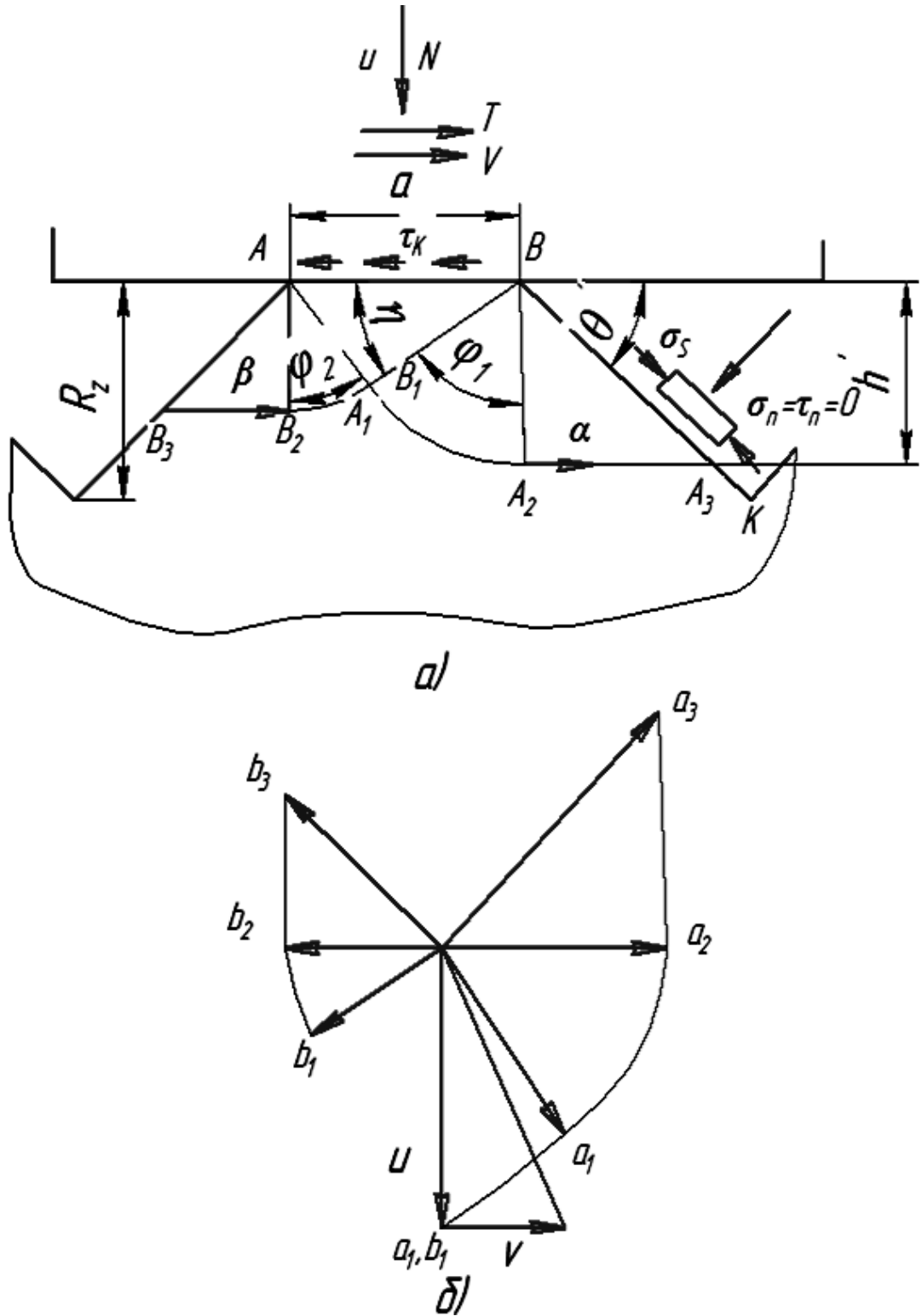


Рисунок 5.1 - Осадження із зсувом виступів нерівностей у вигляді зрізаного клина

- а) поле ліній ковзання;
- б) годограф швидкостей.

Годограф швидкостей переміщення металу в зоні деформування показаний на рисунку 5.1,б. Із годографа випливає, що текучість металу відбувається, головним чином, в напрямку переміщення інструменту й визначається тертям у зоні контакту.

Зусилля деформування визначається шляхом сумування тисків на поверхні контакту:

$$N = \frac{a'}{S} \cdot a \cdot b(\alpha_2) \cdot \rho_n$$

де  $a$  – ширина площі контакту деформівного елемента з нерівністю в поперечному (по профілю зуба) напрямку;

$b(\alpha_2)$  - довжина поверхні контакту деформівного елемента з поверхнею зуба вздовж його твірної

$a'$  – величина, що визначається з врахуванням того, що величина  $h_B$  є різницею  $h_B = R_z^0 - R_z$

де  $R_z^0, R_z$  – висота нерівностей по десяти точкам (по ГОСТ 2789-73), відповідно вихідної і обробленої поверхні при заданому зусиллі деформування.

Відношення  $\frac{a'}{S}$  – середнє число нерівностей що деформуються на ділянці  $a'$ ,  $S$  – крок нерівностей по вершинах, ГОСТ 2789-73.

Із збільшенням зсуваючого зусилля деформації, що викликане силами тертя в контактї, відбувається збільшення площадки контакту вихідних поверхонь з поверхнею інструменту при незмінній глибині області деформування. Таким чином, наявність зсуваючих зусиль викликає локалізацію осередку деформації в поверхневому шарі і утворення біля поверхні стискаючих напружень, які позитивно впливають на поверхневу міцність поверхонь, які працюють в умовах пульсуючих знакоперемінних навантажень.

Управління якістю обробки здійснюється двома шляхами, що й визначає його мобільність в керуванні. До них відносяться керування параметрами режиму обробки і керування конструкцією інструменту.

Розробка конструкції інструменту повинна проводитись з урахуванням двох моментів:



- урахування факторів, які дестабілізують числові значення параметрів якості обробки, що зумовлені схемою процесу і особливістю геометрії евольвентного зачеплення;
- цілеспрямована зміна умов обробки по профілю зубів колеса, що забезпечує потрібну закономірність параметрів якості поверхні, виходячи із змінних по профілю зубів значень параметрів контактної взаємодії при експлуатації зубчастих коліс.

Керування умовами обробки по профілю зубів колеса, виходячи із вимог утворення поверхні зубів із заданим розподілом параметрів, можливий при вивченні впливу на якість обробки дестабілізуючих факторів. До них можна віднести:

- зміну зусиль деформування по профілю зуба, що зумовлені зміною параметрів зачеплення (радіусів кривизни деформуючого елемента і профілю зуба колеса; радіуса прикладеного зусилля деформування при постійному гальмівному моменті, коефіцієнт перекриття зачеплення);

- зміну умов деформування поверхневого шару біля вершин зубів колеса

Реалізація змінного зусилля деформування по профілю зуба шляхом, наприклад, гальмівного моменту, була б досить складною задачею, що потребує високої степені синхронізації коливань гальмівного моменту по фазі зачеплення, а інерційність системи навантаження разом з постійною зміною значень її динамічних характеристик тільки б ускладнила задачу. Тому в практиці (наприклад, калібрування зубчастих коліс і їх прикатування) використовують інший, малоефективний, метод – експериментальний підбір геометрії профілю зубів калібруючого інструменту. Коректування геометрії профілю зуба інструмента приводить до порушення основних властивостей евольвентного зачеплення.

Із аналізу впливу кількості зубів інструменту на процес деформування поверхні зубів оброблюваного колеса випливає:

- переважаючий вплив на зміну глибини втискання деформуючого елемента має величина радіуса його кривизни і коливання зусилля

деформування внаслідок змінного радіуса при постійному гальмівному моменті;

- кількість зубів інструменту значним чином впливає на значення параметрів процесу обробки: із збільшенням числа зубів інструмента зменшується коливання значень параметрів процесу по профілю зуба.

Розглянемо зміну функції  $b(\alpha_e)$ , яка виключає вплив дестабілізуючого фактора, викликаного змінним значенням довжини лінії зачеплення, що характеризується коефіцієнтом перекриття зачеплення.

Графік потрібної зміни функції  $b(\alpha_2)$  показаний на рисунку 5.2. На відміну від розглянутого раніше дестабілізуючого фактору, розглядуваний визначається і кількістю зубів оброблюваного колеса, збільшення яких сприяє підвищенню зони двопарного контакту.

Однак слід врахувати, що при обробці зубчастих коліс із ступенем точності вище 7-го при наявності похибок кроку заготовки коефіцієнт перекриття дорівнює одиниці і зона двопарного контакту вироджується. Функція  $b(\alpha_2) = b(\alpha_w) = \text{const}$ .

Найбільш вагомим дестабілізуючим фактором процесу викінчування зубчастих коліс пластичним деформуванням за схемою вільного обкатування є неоднорідна пластична деформація вершин зубів оброблюваного колеса.

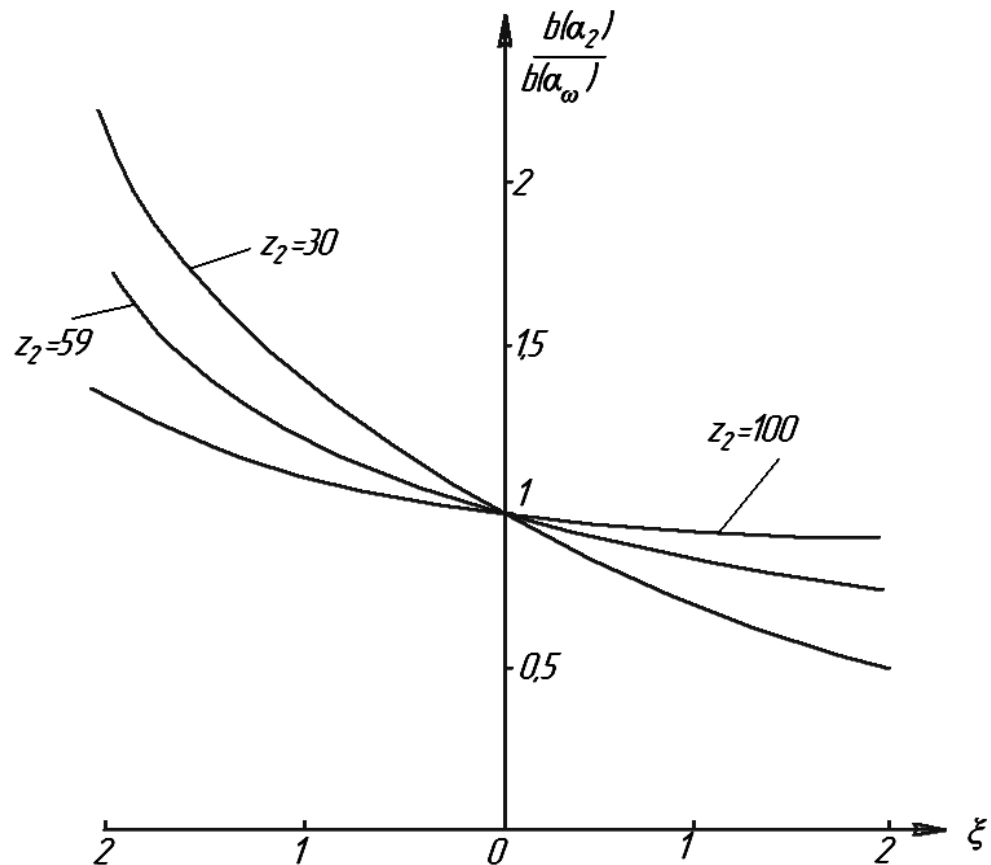


Рисунок 5.2 - Графік зміни відношення  $\frac{b(\alpha_2)}{b(\alpha_\omega)}$  по профілю зуба інструменту в залежності від кількості зубів інструмента

### 5.3. Модернізація зубодовбального верстата моделі 514

#### 5.3.1. Кінематична схема коренізованого зубодовбального верстата

Технологічний процес формування регулярного часткового рельєфу на робочих евольвентних поверхнях прямозубих коліс реалізується за схемою, поданою у [27].

Для реалізації цього технологічного процесу, враховуючи рекомендації [27], необхідно:

- створити новий тип вібраційного інструменту;
- забезпечити такі рухи: осциляційний (зворотно-поступальний) рух інструменту; обертовий рух оброблюваного зубчастого колеса, кінематично узгоджений із обертовим рухом інструменту;

- створити з боку оброблюваного колеса необхідної величини моменту опору для забезпечення поверхнево-пластичної деформації мікронерівностей і створення відповідного типу частково регулярного мікрорельєфу.

Запропонована кінематична схема модернізованого верстата подана на рис.5.3.

Головним рухом формування частково регулярного мікрорельєфу є осциляційний (зворотно-поступальний) рух інструменту. Обертання від електродвигуна М (N = 2 кВт, n = 1420 об/хв.) передається через пасову передачу 100-280 валу VI коробки швидкостей. На валу VI цієї коробки розміщені два рухомі блоки зубчастих коліс 22-37 і 29-46, завдяки яким вал II може отримати чотири різні швидкості обертання або чотири різні кількості подвійних ходів на хвилину по ланцюгу:

$$n = 1420 \cdot \frac{100}{280} \begin{cases} 22/88 = n_1 = 125 \\ 29/81 = n_2 = 178 \\ 37/73 = n_3 = 253 \\ 40/64 = n_4 = 359 \end{cases}$$

На лівому кінці вала III закріплений кривошипний диск з радіальним пазом, у якому встановлений кривошипний палець, зв'язаний шатуном із рейкою 27 (m = 3,25 мм), яка зачеплена із шестернею 12 (z = 26).

При обертанні вала III цей кривошипно-шатуний механізм забезпечує зворотно-обертальний рух вала VI, який за допомогою шестерні 13 (z = 26), що розміщена на другому кінці цього вала і спряжена із рейкою 14 (m = 3,25 мм),



закріпленою на гільзі штоселя, перетворює цей рух у зворотно-поступальний рух інструменту.

Кругова подача інструменту вимірюється довжиною дуги ділильного кола інструменту (в мм), на яку повертається інструмент за один його подвійний хід. Рух цієї подачі передається від електродвигуна  $M_2$  ( $N = 0,5$  кВт,  $n = 1440$  об/хв.) на вал XI і на гітару змінних коліс ВД/ГЕ через конічні шестерні 20-30 ( $z_1 = 30$ ;  $z_2 = 30$ ) на вертикальний вал IX і через таку ж конічну передачу – на вал VIII, на якому розміщений однозахідний черв'як 29 ( $z-1$ ), спряжений із черв'ячним колесом 24 ( $z = 100$ ).

### **5.3.2. Основні засади модернізації зубодовбального верстата моделі 514**

Суть модернізації полягає у спрощенні конструкції існуючого верстата шляхом вилучення певних елементів і складальних одиниць, а саме:

- вилучений механізм радіального переміщення;
- вилучена гітара змінних коліс, що забезпечує кругову подачу;
- вилучена гітара радіальних подач і кінематичні ланцюги, що забезпечують використання багато прохідних кулачків.

Разом з тим, запропонований механізм створення моменту опору з боку оброблюваного колеса, який використовує самогальмівну пару черв'як 33 ( $z = 1$ ) - черв'ячне колесо 34 ( $z = 240$ ), до якого жорстко приєднаний торстон, наприклад, у вигляді пружини кручення 3м, що другим кінцем з'єднаний із диском 2м, що через шпонку з'єднана із валом, на якому закріплене оброблюване колесо (заготовка).

### **5.3.3. Принципова схема пристрою із замкнутим контуром для віброобкатування зубчастих коліс на зубодовбальному верстаті**

Проектування автономної установки викликане, в першу чергу, необхідністю забезпечення заданих технічних параметрів приводу, які повинні задовольняти вимогам, що висуваються до параметрів режиму обробки технологічного процесу вібраційного накатування:

- фактори повинні бути керованими, тобто такими що дозволяють встановлювати певне значення фактора і підтримувати це значення під час обробки деталі;
- для будь-якої пари факторів повинна виконуватись умова сумісності, тобто така умова, при якій взаємний вплив факторів не повинен викликати порушення технологічного процесу;
- фактори повинні бути незалежними, тобто повинна забезпечуватись можливість встановлення факторів на будь-якому рівні незалежно від рівня інших факторів.

Кінематична схема пристрою запропонована для реалізації схеми обробки показана на рисунку 5.4.

Пристрій встановлюється на стіл зубодовбального верстата моделі 514 та закріплюється в Т-подібних пазах. Складається він із замкнутого силового контуру в який входять: два одночасно оброблюваних зубчастих колеса 2; віброобкатник 1; пружина 7; муфти 8; колеса 9, які забезпечують замикання контуру.

Зворотно-поступальний осциляційний рух інструменту забезпечується механізмом головного руху верстата моделі 514, який показаний на кінематичній схемі (рис.5.4).

Головний рух формування регулярних мікрорельєфів на евольвертних робочих поверхнях циліндричних прямозубих зубчастих коліс є зворотно-поступальним рухом інструменту, виконаного у вигляді зубчастого колеса із системою виступів на робочих поверхнях зубів [27].

Підготовка пристрою складається з таких етапів:

- встановлюються та затискаються оброблювані зубчасті колеса 2;
- зубчасте колесо 9 фіксується за допомогою фіксатора 12;
- при відключеній муфті 8 за допомогою храпового механізму проводиться прокручування зубчастого колеса 2. Відповідно скручується пружина 7, що створює необхідне напруження в зубчастому зачепленні між інструментом і оброблюваними колесами;
- після створення натягу пружини вмикається муфта 8 та знімається фіксація колеса 9.

- узгоджено запускаються головний рух (осциляційний) та обертовий рухи як інструменту, так і оброблюваних коліс.

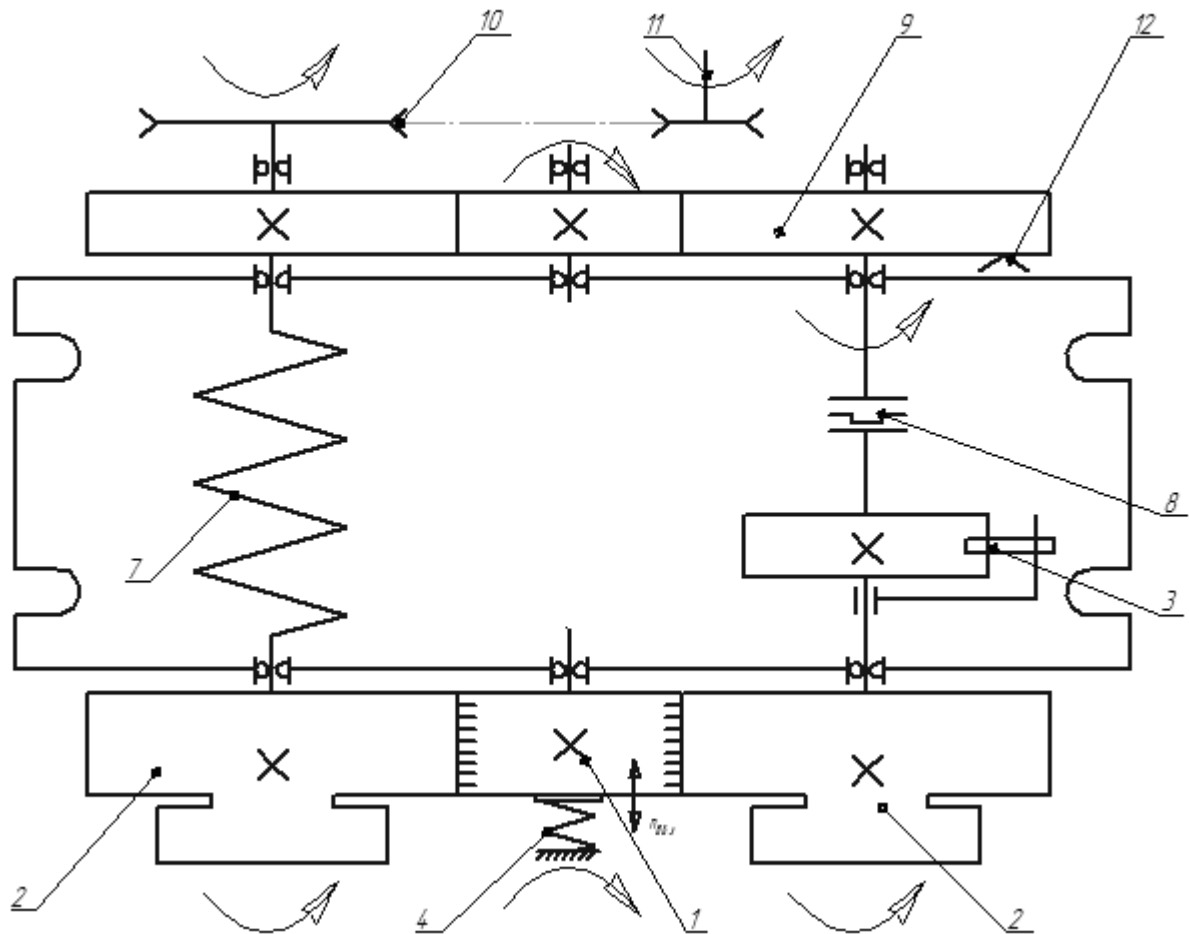


Рисунок 5.4 - Принципова схема пристрою із замкнутим силовим контуром

#### 5.4. Види частково регулярних зигзагоподібних мікрорельєфів на евольвентних поверхнях

Проаналізовано існуючі класифікації видів регулярних мікрорельєфів, що розроблені науковою школою Ю.Г. Шнейдера [27].

Показано, що використавши в приводі осциляційного руху віброобкатника кулачок з профілем, виконаний за Архімедовою спіраллю, отримаємо систему зигзагоподібних канавок. Врахувавши можливі технологічні наладки пристрою для віброобробочування евольвентиних поверхонь, можна отримати три основних види



ЧМР, а саме: перший – з канавками, що не дотикаються (I), другий – з канавками, що дотикаються (II) і третій – з канавками, що перетинаються (III).

Розглянемо перший вид мікрорельєфу – із системою синфазних паралельних канавок (рис 5.5).

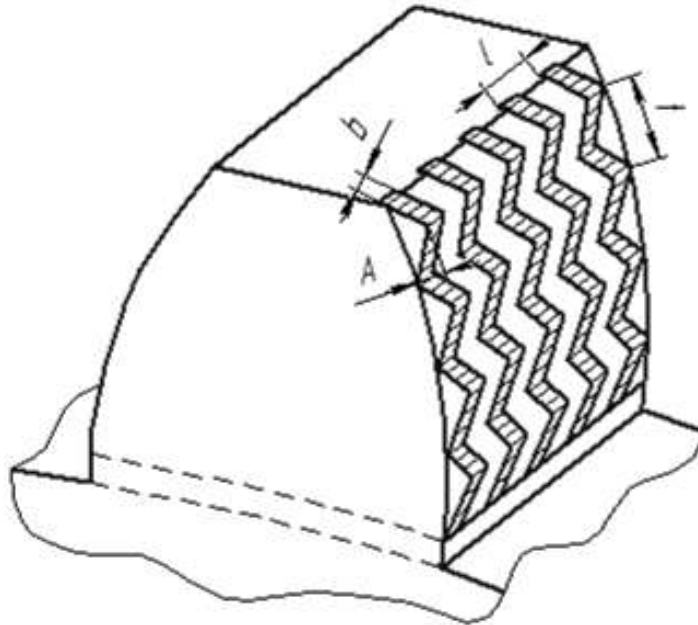


Рисунок 5.5 - Поверхня зуба із системою синфазних канавок, що не дотикаються

Якщо евольвентну поверхню зуба розгорнути на площину, то отримаємо поверхню з нанесеною системою канавок, де проставляємо параметри мікрорельєфу.

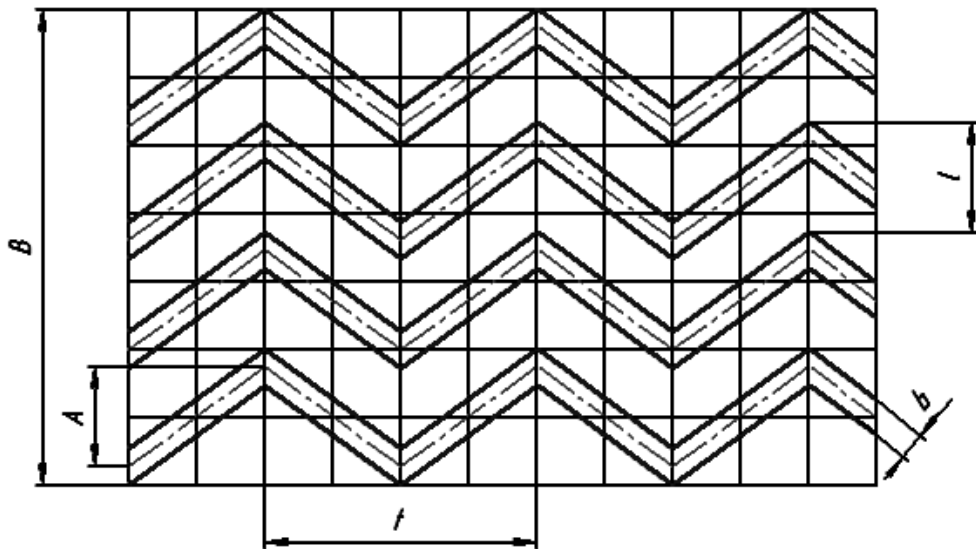


Рисунок 5.6 - Розгортка поверхні зуба на площину.

На рис.5.6 позначено:  $A$  - амплітуда коливань;  $l$  - поперечний крок;  $B$  - довжина розгортки евольвентної поверхні;  $t$  - поздовжній крок.

Ще один варіант мікрорельєфу – із системою асинфазних канавок, що дотикаються по вершинах. Наноситься на зубчасте колесо у два проходи.

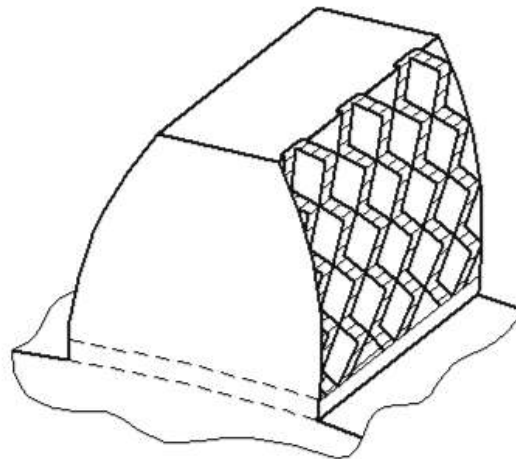


Рисунок 5.7 - Поверхня зуба із системою асинфазних канавок що дотикаються по вершинах

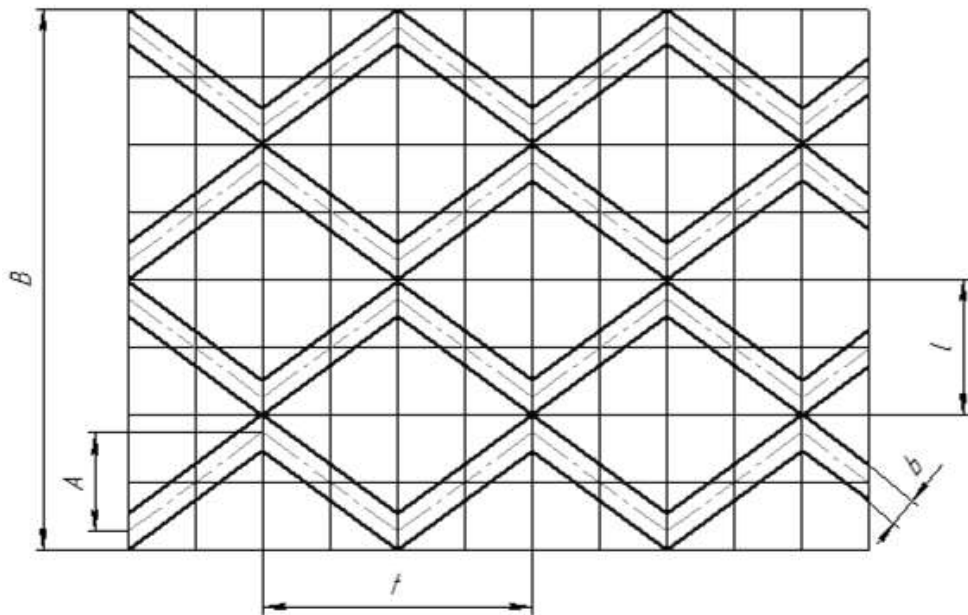


Рисунок 5.8 - Розгортка поверхні зуба на площину

Наступний вид мікрорельєфу – із системою асинфазних канавок, що перетинаються. Наноситься на зубчасте колесо у два проходи.

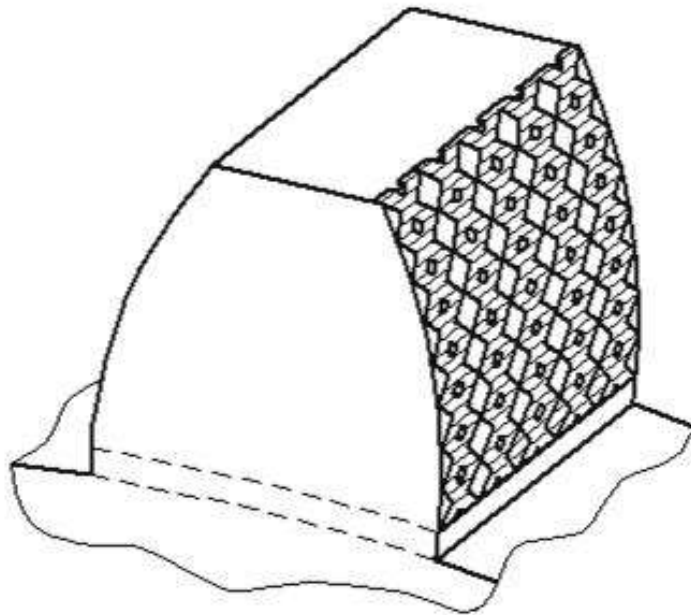


Рисунок 5.9 - Поверхня зуба із системою асинфазних канавок, що перетинаються

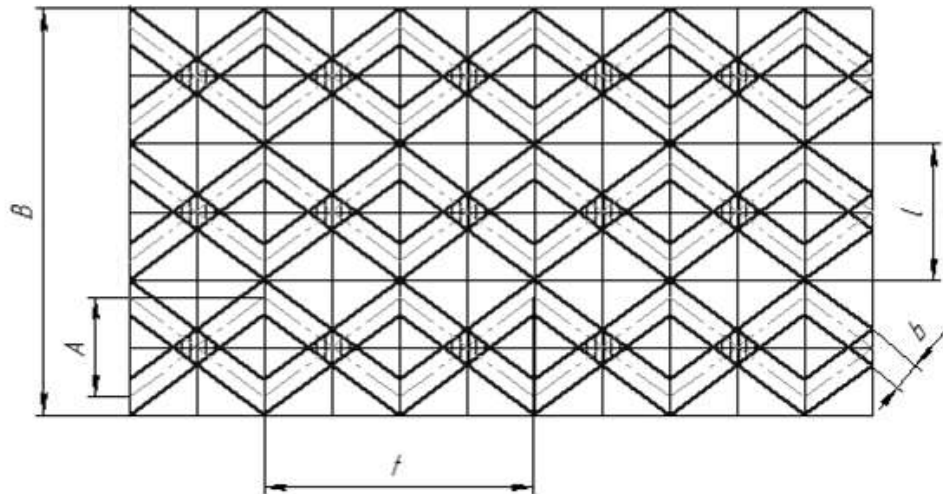


Рисунок 5.10 - Розгортка поверхні зуба на площину

### 5.5. Визначення відносної площі віброобкочування, сформованої одним обкатником на одному крокові

Розглянемо розрахункову схему, подану на рис. 5.11.

Площа паралелограма BCDE визначається із залежності:

$$S_1 = BE \cdot L \cdot C.$$

Із  $\triangle BCL$  маємо:  $LC = h_{\text{інс.}} \cdot \sin \varphi$ .

Із  $\triangle BEM$  визначаємо BE:

$$BE = 0,5S_{\text{кр}} / \sin \varphi.$$

Площа канавки  $S_{\text{к}}$  за 1 крок буде дорівнювати:

$$S_{\text{к}} = S_{\text{кр}} \cdot h_{\text{інс.}},$$

де  $S_{\text{кр}}$  – кругова подача заготовки;

$h_{\text{інс}}$  – ширина деформуючого леза.

Відносну площу віброобкочування за один крок визначимо за формулою:

$$S_{\text{в.в.}} = \frac{S_{\text{кр}} \cdot h_{\text{інс.}} \cdot 100\%}{S_{\text{кр}}(2A + h_{\text{інс.}})} = \frac{h_{\text{інс.}} \cdot 100\%}{2A + h_{\text{інс.}}}.$$

Тут  $A$  – амплітуда коливань інструменту.

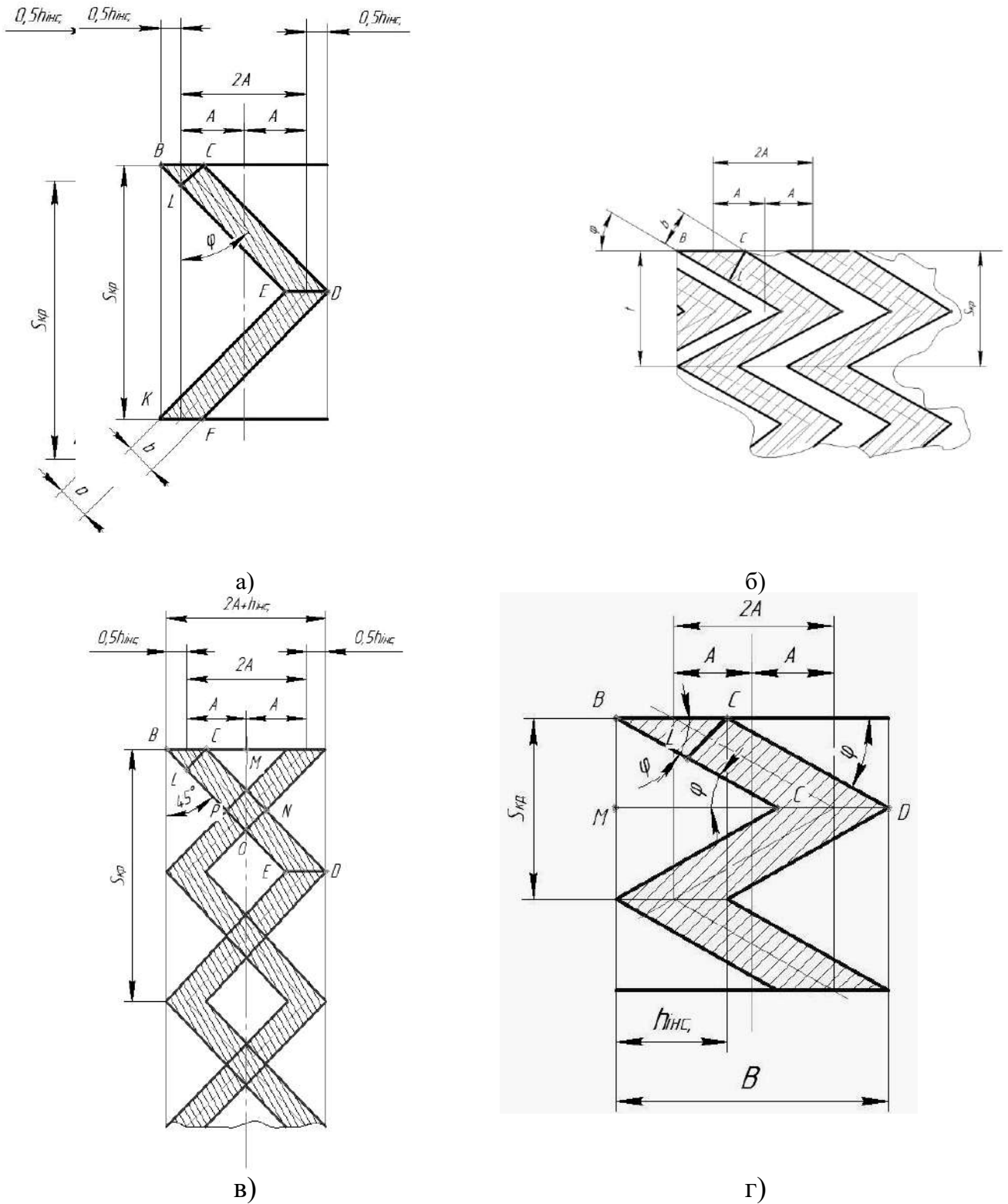


Рисунок 5.10 - Приклади деяких видів мікрорельєфу і розрахункові схеми відносної площі вібробочування : а) розрахункова схема для визначення відносної площі вібробочування для випадку  $S_{кр} > 2A + h_{инс}$ ; б) зразок часткового регулярного зигзагоподібного мікрорельєфу з паралельними канавками, що не дотикаються; в) схема часткового регулярного мікрорельєфу з канавками, що перетинаються під кутом  $45^\circ$ ; г) розрахункова схема для визначення відносної площі вібробочування для випадку

$$S_{кр} < 2A + h_{инс}.$$

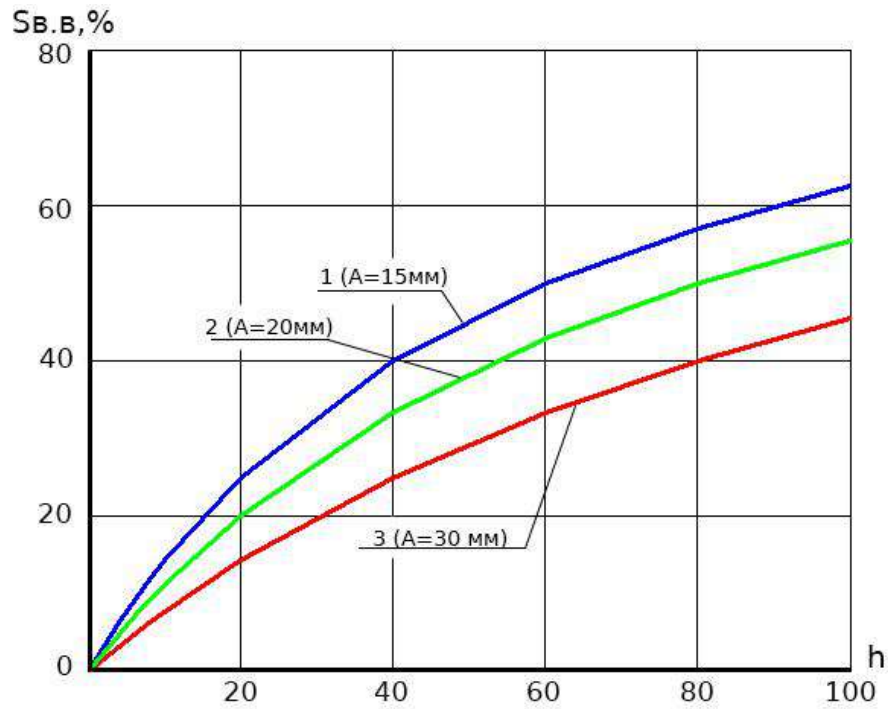


Рисунок 5.11 - Графіки залежностей відносної площі віброобробкування ширини  $h$  робочого леза інструмента при різних амплітудах його коливань; 1, 2 і 3 – відповідно при амплітудах:  $A_1=15$  мм;  $A_2=20$  мм;  $A_3=30$  мм

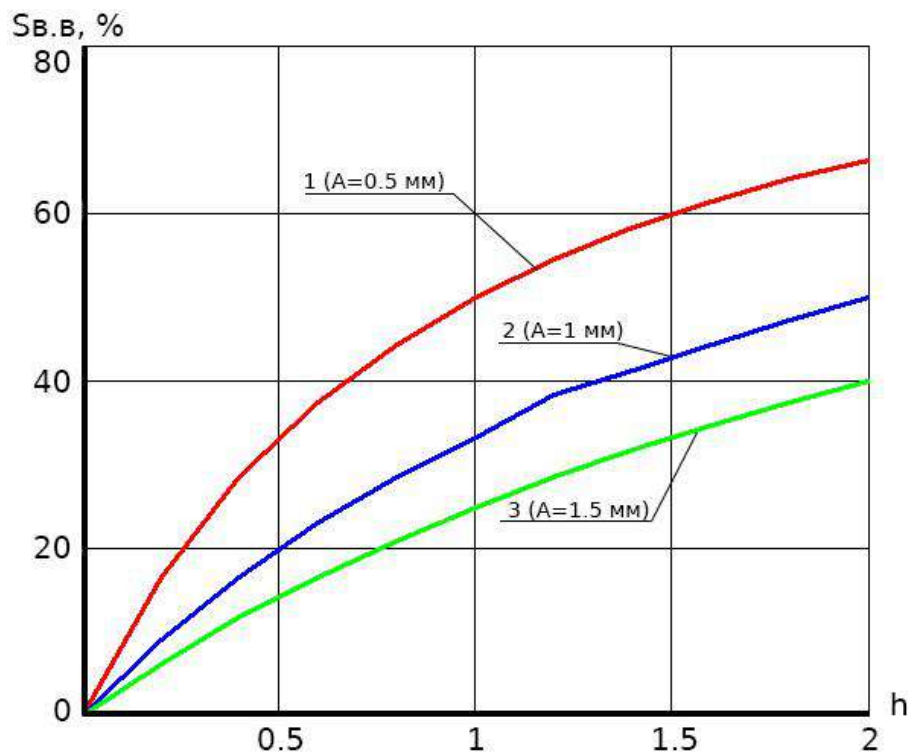


Рисунок 5.12 - Графіки залежностей відносної площі віброобробкування ширини  $h$  робочого леза інструмента при різних амплітудах його коливань; 1, 2 і 3 - відповідно при амплітудах:  $A_1=0,5$  мм;  $A_2=1$  мм;  $A_3=1,5$  мм

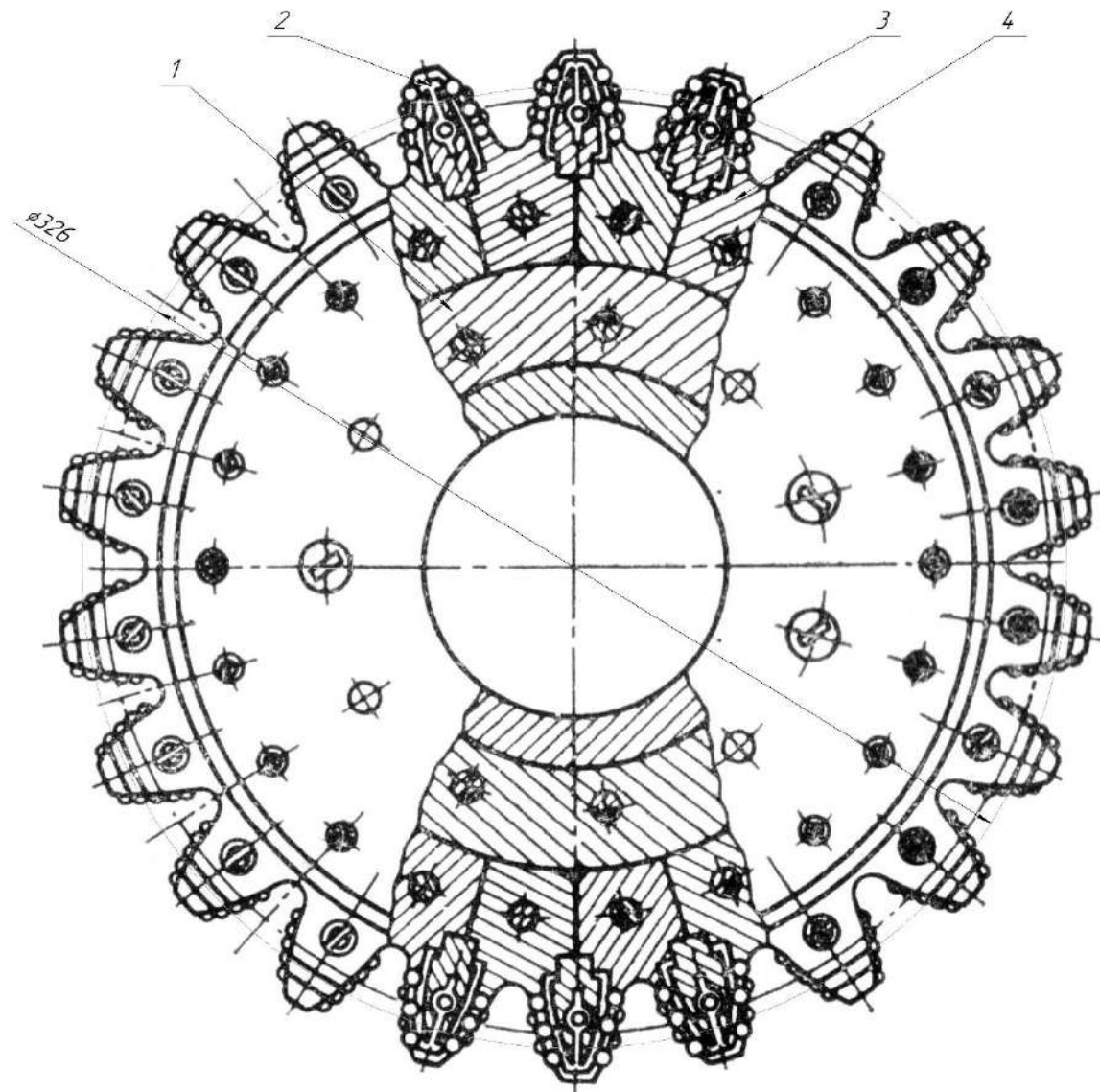
### **5.6. Інструмент фінішної обробки шляхом формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях зубчастих прямозубих коліс**

Проаналізовано існуючі інструменти для фінішної обробки робочих поверхонь евольвентних прямозубих зубчастих коліс як, наприклад, шевери [22] або спеціальний інструмент у вигляді зубчастого колеса [27] з деформуючими (сферичними) елементами на бічних поверхнях зубів.

Запропонований удосконалений інструмент, який подано на рис.5.13.

Особливістю такого інструменту є те, що він нецільний, а складається із окремих твердосплавних, виготовлених із ВК6, зубів 2, що закріплені у корпусі 1. Деформуючі елементи у вигляді округлених шпонок розміщені на бічних евольвентних поверхнях паралельно до поздовжньої осі центрального отвору. Зуби 2 жорстко закріплені у корпусі 4.

Інструмент працює за схемою, поданою у [27], при якій йому надають зворотно-поступальний осциляційний і обертовий рух, а оброблюваному колесу – тільки обертовий.



Модуль нормальний	$m$	3
Кут профіля	$\alpha$	$20^\circ$
Число зубів	$z$	22
Діляльний діаметр	$d_d$	65,2
Діаметр основного кола	$d_{f0}$	70
Товщина зубів нормальна по осі діляльного кола	$s_n$	5,6
Крок зубів нормальний	$p_n$	9,42
Похилка профілю	$f_n$	0,005
Гранична похилка калюваго кроку	$f_g$	0,003
Накопичена похилка калюваго кроку	$F_g$	0,013
Похилку напрямку зуба	$F_B$	$\pm 0,010$

Рис 5.13 - Інструмент для вібраційного обточування евольвентних поверхонь зубчастих прямозубих коліс  
1 – корпус; 2 – зуб; 3 – формуючий елемент; 4 – корпус зуба



## 6. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Як інструмент автоматизованого розрахунку програма «Справочник конструктора» від компанії АСКОН дозволяє виконати розрахунок підшипників, муфт, пружин, роз'ємних та нероз'ємних з'єднань, гвинтових, зубчастих, черв'ячних, ланцюгових і пасових передач. Розрахунки виконуються у відповідності зі спеціальними проектами, кожен з яких включає в себе три складових:

- форму вихідних даних, призначену для введення значень змінних, задіяних у розрахунку;
- форму результатів розрахунку, призначену для візуального відображення результатів виконаного розрахунку;
- код розрахунку, що містить в собі набір процедур і функцій, необхідних для виконання розрахунку. Всі коди доступні для редагування, що дозволяє врахувати нюанси методики розрахунку будь-якого підприємства.

Результати розрахунку оформляються у діалоговому вікні у вигляді звіту та експортуються у додатки Microsoft. Експортований звіт відображається таблицею, що містить найменування, позначення і значення змінних (допускається створення звіту і за власним шаблоном користувача).

Також результати розрахунків можуть бути передані в КОМПАС-Shaft 3D, для подальшого використання у системі. Довідник конструктора може бути викликаний прямо з середовища системи моделювання.

Одним з головних переваг розрахунково-інформаційної системи «Справочник конструктора» є широкий набір сервісних функцій. Серед них:

- можливість управління взаємним розташуванням тематичних областей довідника.
  - можливість перегрупування розділів і сторінок у змісті довідника
- навігація по переглянутих інформаційних сторінках і проектам розрахунків.

Також в системі є можливість налаштовувати механізм пошуку. Для більш точного пошуку потрібно запустити пошук в усьому інформаційному просторі

довідника. За запитом користувача довідник видасть набір посилань на відповідну інформацію. Посилання можуть бути як на статті, так і на автоматизовані розрахунки.

Впровадження системи в процеси проектування дозволить конструктору істотно підвищити якість проектування.

Проведемо розрахунок шліцевого та шпонкового з'єднання в розглянутій вище розрахунково-інформаційній системі.

Після запуску модуля розрахунку шліцевих з'єднань (рис.6.1) введемо параметри навантаження, та геометричні параметри з'єднання. Після запуску розрахунку ми отримаємо результати розрахунку шліцевого з'єднання (рис.6.2) на третьому валу коробки швидкостей.


Исходные данные	
<b>Расчёт шлицевых соединений на прочность</b>	
Тип зубьев	Прямобоочные ▾
Наибольший допустимый вращающий момент, Н*м	$[T_{\max}] =$ 110
Коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузок по рабочим поверхностям зубьев	$\phi =$ 0,7
Наружный диаметр зубьев вала, мм	$D_B =$ 32
Диаметр отверстия шлицевой втулки, мм	$d_a =$ 26
Число зубьев	$z =$ 7
Размер фаски, мм	$f =$ 2
Радиус закругления, мм	$r =$ 0,2
Рабочая длина зуба, мм	$l =$ 50
Модуль (для эвольвентных зубьев), мм	$m =$ 2
Допускаемое напряжение на смятие, МПа	$[\sigma_{\text{см}}] =$ 60 

Рисунок 6.1 - Діалогове вікно введення вхідних даних.


Результаты расчета	
 <b>Расчёт шлицевых соединений на прочность</b>	
Расчётное напряжение на смятие, МПа	$\sigma_{см} =$ <input type="text" value="38,70514"/>
Площадь всех боковых поверхностей зубьев с одной стороны на 1 мм длины, мм <sup>2</sup> /мм	$F =$ <input type="text" value="5,6"/>
Средний радиус соединения, мм	$r_{ср} =$ <input type="text" value="14,5"/>
Условие прочности на смятие	<input type="text" value="Выполнено"/>

Рисунок 6.2 – Діалогове вікно результатів розрахунку.

Перевіримо шпонкове з'єднання зубчастого колеса шпинделя.

Шпонка призматична 12x10x36 ГОСТ 23360-78.

Діалогові вікна розрахунку показані на рисунках 6.3 та 6.4.




Исходные данные	
 <b>Расчёт шпонок, призматическая шпонка</b>	
Вращающий момент, Н*мм	$T =$ <input type="text" value="80000"/>
Диаметр вала, мм	$d =$ <input type="text" value="55"/>
Выступ шпонки от шпоночного паза, мм	$K =$ <input type="text" value="2"/>
Рабочая длина шпонки, мм	$l =$ <input type="text" value="34"/>
Ширина шпонки, мм	$b =$ <input type="text" value="10"/>
Допускаемое напряжение среза, МПа	$[\tau_{ср}] =$ <input type="text" value="50"/> 
Допускаемое напряжение смятия, МПа	$[\sigma_{см}] =$ <input type="text" value="90"/> 
Поправочный коэффициент	$m =$ <input type="text" value="1"/>

Рисунок 6.3 – Діалогове вікно введення вихідних даних.


Результаты расчета	
 <b>Расчёт шпонок, призматическая шпонка</b>	
Напряжение среза, МПа	$\tau_{\text{ср}} =$ <input type="text" value="12,75917"/>
Напряжение смятия, МПа	$\sigma_{\text{см}} =$ <input type="text" value="66,1157"/>
Условие прочности на срез	<input type="text" value="Выполнено"/>
Условие прочности на смятие	<input type="text" value="Выполнено"/>

Рисунок 6.4 – Диалогове вікно результатів розрахунку.

Як видно із результатів розрахунку умови міцності на зріз та зминання виконуються.

## 7. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗУБОДОВБАЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 514

### 7.1. Розрахунок показників рівня та якості проектного виробу

В умовах науково-технічного прогресу якість засобів виробництва залишається одним із основних факторів зростання суспільного виробництва. Існує нерозривний зв'язок між науково-технічним прогресом і підвищенням якості продукції.

За кількістю характеризованих властивостей продукції показники якості діляться на одиничні та комплексні. Серед показників якості, що характеризують вибір як об'єкт експлуатації, можна виділити такі основні групи експлуатаційних показників:

- показники призначення;
- показники надійності;
- показники ергономіки;
- екологічні показники;
- показники естетики;
- патентно-правові показники.

Показники призначення характеризують ступінь відповідності машини її цільовому призначенню, конструктивне виконання і основні розміри, стійкість до зовнішніх, наприклад, механічних, теплових, кліматичних впливів:

$$K_B^1 = 0,79 \cdot K_{np}^1 = 1,0$$

До показників надійності відносяться безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність.

Безвідмовність – це властивість машини виконувати задані функції зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом потрібного

проміжку часу. Показниками безвідмовності є вірогідність безвідмовної роботи, середній проміжок до першої відмови, інтенсивність відмов, гарантійне обслуговування.

$$K_B^2 = 1,1 \cdot K_{np}^2 = 1,2$$

Довговічність машини характеризує терміни її служби із врахуванням фізичного і морального зношування до першого капітального ремонту, модернізації або списання. Показники довговічності – це ресурси, середній термін служби, термін служби до першого капітального ремонту, міжремонтний термін служби, термін служби до списання, ресурс до першого капітального ремонту.

$$K_B^3 = 1,1 \cdot K_{np}^3 = 1,0$$

Ремонтопридатність – властивість машини, що полягає в її пристосуванні до передбачення, виявлення та усунення відмов і несправностей при технічному обслуговуванні та ремонті. До показників ремонтпридатності відносяться:

- вірогідність відновлення в заданий час, середній час відпочинку;
- середній час відновлення;
- середню питому трудомісткість технічного обслуговування;
- середню трудомісткість ремонтів.

$$K_B^4 = 0,9 \cdot K_{np}^4 = 1,0$$

Ергономічні показники характеризують машину в системі людина-машина і враховують її пристосованість до антропометричних, біохімічних, фізіологічних та інженерно-психологічних особливостей людини, що проявляються у виробничих процесах.

$$K_B^5 = 1,1 \cdot K_{np}^5 = 1,3$$

Екологічні показники характеризують машину з точки зору вірогідного забруднення навколишнього середовища шкідливими відходами при зберіганні, транспортуванні та експлуатації.

$$K_B^6 = 1,1 \cdot K_{np}^6 = 1,22$$

Результати диференційованої оцінки технічного рівня і якості проектного верстата порівняно з кращими світовими досягненнями позначаються таким чином:

- “П” – перевищує;
- “В” – відповідає;
- “Н” – не відповідає.

Комплексний показник якості проектованого верстата розраховується за формулою:

$$P_{K_i} = \sum \prod_{i=1} K_i \cdot D_i, \quad (7.1)$$

де  $P_{K_i}$  – комплексний показник якості проектованого верстата;

$K_i$  – відносні показники якості, визначені співставленням числових значень одиничних показників якості проектованого і змінюваного приладу;

$D_i$  – коефіцієнти вагомості  $i$ -го одиничного показника якості, який визначає його відносну значимість.

За (7.1) отримуємо:

$$P_{K_i} = 1,0 \cdot 0,4 + 1,1 \cdot 0,8 + 1,2 \cdot 0,1 + 1,0 \cdot 0,6 + 1,0 \cdot 0,1 + 1,3 \cdot 0,1 + 1,22 \cdot 0,1 = 1,43$$

При оцінці рівня якості машини можливі такі варіанти:

- за всіма показниками  $P_{K_i} > 1,0$ ;
- за одними показниками  $P_{K_i} > 1,0$ , за іншими  $P_{K_i} = 1,0$  і за третіми  $P_{K_i} < 1,0$ .

Так як в даному випадку за виконаними розрахунками  $P_{K_i} > 1,0$ , то проектування і впровадження верстата є доцільним.

Таблиця 7.1. – Показники технічного рівня та якості

Показники	Одиниці вимірювання	Значення показника				Результати диференційованої оцінки технічного рівня проектованого верстата
		Проектованого верстата	Базового верстата	Кращих аналогів		
				вітчизняного	зарубіжного	
Призначення:						
– продуктивність		1,0	0,79	0,9	1,0	0,4
– точність обробки зразків деталей		1,1	1,0	1,0	1,0	0,11
Надійності:						
– безвідмовність		1,2	1,1	1,1	1,2	0,12
– довговічність		1,0	1,0	1,0	1,1	0,1

– ремонтпридатність		1,0	0,9	0,9	1,0	0,1
Ергономічні		1,3	1,0	1,0	1,2	0,13
Екологічні		1,22	0,93	1,0	1,1	0,12

## **7.2. Обґрунтування економічної ефективності розробленої конструкції верстата**

### **7.2.1. Зміст організаційно-технічної частини дипломної роботи**

В організаційній частині проекту розробляється система організації планування технічної підготовки виробництва. В економічній частині виконується техніко-економічне обґрунтування проектного верстата, а також визначаються загальні техніко-економічні показники і проводиться їх аналіз.

### **7.2.2. Організація та планування технічної підготовки виробництва**

В існуючому технологічному процесі на деталь-представник обробка виконується на універсальному металорізальному обладнанні. Процес обробки має високу трудомісткість.

### **7.2.3. Зміст та етапи конструкторської підготовки виробництва**

Відповідно до вимог ГОСТ 2.103-68 встановлені такі етапи конструкторської підготовки:

- технічне завдання;
- технічна пропозиція;
- ескізний проект;
- технічний проект;
- розробка робочої документації.

### **7.2.4. Зміст та етапи технологічної підготовки виробництва**



Згідно з положеннями єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТВ) ГОСТ 14002-73 встановлені такі етапи технологічної підготовки виробництва:

- технологічний контроль креслення;
- складання міжцехових технологічних процесів;
- розробка технологічних процесів проектування та виготовлення технологічного оснащення;
- наладка та впровадження технологічних процесів.

При впровадженні у виробництво та при виготовленні верстата будуть пройдені всі етапи технологічної підготовки виробництва. Деталі верстата та складальні одиниці технологічні і відповідають вимогам ГОСТ 14202-73.

### **7.2.5. Визначення трудомісткості та об'єму робіт конструкторської підготовки виробництва**

Величина трудових та фінансових витрат на підготовку виробництва нових зірців техніки залежить від ступеня їх новизни, та від її складності. При виконанні дипломного проекту розрахунки трудомісткості конструкторської підготовки виробництва виконуються за укрупненими нормативами із врахуванням вищезазначених критеріїв [18].

Згідно з довідковою літературою, конструкторські роботи з проектованого верстата відносяться до групи новизни Б [18] група складності III [18]. Деталі відносяться до I, II та III груп складності [18].

Кількість умовних деталей визначається за формулою:

$$D_{умов} = \sum D \cdot k \quad (7.2)$$

де  $D_{умов}$  – кількість умовних деталей;

$D$  – кількість деталей кожного роду;

$k$  – поправочний коефіцієнт кожного роду.

Для оригінальних деталей:

$$D_{умов} = 42 \cdot 1,0 = 42$$

Для деталей, розроблених як уніфіковані для інших моделей даної групи обладнання:

$$D_{умов} = 67 \cdot 1,2 = 80$$

Уніфіковані деталі та деталі з інших машин, які застосовуються при проектуванні:

$$D_{умов} = 81 \cdot 0,3 = 24$$

Уніфіковані вузли, які застосовуються при проектуванні обладнання:

$$D_{умов} = 11 \cdot 0,1 = 1,1$$

Трудомісткість розробки технічного ТТ та робочого ТР проектів визначається за формулою:

$$T_T = m_i \cdot k_c \cdot k_r \cdot \sum HT_i$$

$$T_P = m_i \cdot k_c \cdot k_r \cdot \sum HP_i$$

де  $HT_i$ ,  $HP_i$  – норми робочого часу на розробку технічного і робочого проектів і розрахунку на одну умовні деталь для  $i$ -го вузла в залежності від ступеня складності і новизни вузла [18];

$m_i$  – кількість умовних деталей, визначених із врахуванням коефіцієнтів, наведених в таблиці [18];

$HT_i = 1,1$  – коефіцієнт зміни норм часу при проектуванні верстатів різної складності [16];

$k_c = 1,4$  – коефіцієнт серійності,

$k_r = 1,0$  – коефіцієнт габаритності (при масі верстата 1,3 т).

Визначаємо трудомісткість розробки технічного завдання.

Технічне завдання: група новизни Б [18], група складності 3:  
ТЗ = 46,5 чол.год.

Технічна пропозиція: група новизни Б [18], група складності 4:  
ТТП = 205 чол.год.

Ескізний проект: 10 форматів А1 3 групи складності, групи новизни Б:

$$12 \times 43,7 = 524 \text{ чол.год.}$$

Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки виробництва зводимо в табл.7.2.

Таблиця 7.2. – Трудомісткість конструкторської підготовки

Найменування конструкторської документації або видів робіт	Стадії проектування	Кількість облікових одиниць	Групи		Норми часу, чол.год		Кваліфікація виконавців
			новизни	складності	на одиницю	всього	
1	2	3	4	5	6	7	8
Розробка тех. завдання	Технічне завдання	30ф.А4	Б	3	46,5	1295	Ведучий конструктор
Підготовка технічної пропозиції	Технічна пропозиція	1ф.А1	Б	3	205	205	Ведучий конструктор
Проробка конструкції верстата	Ескізний проект	9ф.А1	Б	3	393	393	--/–
Проробка деталей та вузлів на технологічність	Технічний проект	80 ф.А4	Б	1	2,8	224	Інж.-к.ІІІ кат.
		60 ф.А4	Б	2	3,6	216	Інж.-к.ІІ кат.
		60 ф.А4	Б	3	4,1	246	Інж.-к.І кат.
Креслення загального вигляду, вузлів, окремих деталей	Розробка робочої документації по проекту	80 ф.А4	Б	1	3,1	248	Інж.-к.ІІІ кат.
		60 ф.А4	Б	2	4,6	276	Інж.-к.ІІ кат.
		60 ф.А4	Б	3	3,8	354	Інж.-к.І кат.
Складання технічного паспорта на верстат	--/–	45ф.А4	Б	3	4	90	Ст.техн. констр.
Монтажне креслення	--/–	8 ф.А1	Б	3	3	9	Інж.-к.ІІІ кат.
Складання технічних вимог	Розробка технічної документації	25 ф.А4	Б	3	5	94	ст. інж.-к.
Участь у налагодці дослідного взірця	Авторський контроль за виготовленням	6%від $\Sigma(T_T+T_P)$	Б	3	181,17	188	Інж.-к.І кат.

Коректування технічної документації	Тех.документація по проекту	12%від $\Sigma(T_T+T_p)$	Б	3	181, 17	188	Інж.-к.І кат.
Копіювальні роботи	Тех.документація по проекту	8%від трудомісткості конструкторських робіт	Б	4		78	ст. тех.-к.
Виконання робіт, що не ввійшли в даний перелік	Тех.документація по проекту	До 5%від трудомісткості конструкторських робіт	Б	4		94	ст. тех.-к.
Впровадження верстата у замовника	Авторський контроль за виготовленням	6%від $\Sigma(T_T+T_p)$	Б	4			Інж.-к.І кат.
Загальна трудомісткість						4190	

### 7.2.6. Визначення трудомісткості та об'єму робіт технологічної підготовки виробництва

Обробка деталей для проектного верстата буде виконуватися в стандартних пристосуваннях та універсально – складальному обладнанні. Проектування спеціального оснащення для середньо серійного виробництва економічно не вигідне. Виходячи з вищевикладеного в трудомісткість технологічної підготовки включаємо лише час на проектування технологічних процесів. Види технологічних процесів – укрупнена технологія. Розрахунок виконується для оригінальних, стандартних та уніфікованих деталей.

По першій групі складності згідно [18] для 64 деталей:

$$2,6 \cdot 64 = 166,4 \text{ чол.год.}$$

Для другої групи складності (62 деталі):

$$5,2 \cdot 62 = 322,4 \text{ чол.год.}$$

Для третьої групи складності (13 деталей):

$$9,4 \cdot 28 = 263,2 \text{ чол.год.}$$

Результати розрахунку трудомісткості технологічної підготовки виробництва зводимо в табл. 7.3.

Таблиця 7.3. – Трудомісткість технологічної підготовки

Види робіт	Групи складності	Кількість облікових одиниць	Норми часу, чол.год.		Кваліфікація виконавців
			на одиницю	разом	
Проектування технологічних процесів	1	64	2,6	166,4	Інж.-техн.ІІІ кат.
	2	62	5,2	322,4	Інж.-техн.ІІ кат.
	3	28	9,4	263,2	Інж.-техн.І кат.
Всього				810,8	

### 7.2.7. Кошторис витрат

Вихідними даними для визначення вказаних витрат є:

- трудомісткість окремих етапів технічної підготовки виробництва;
- фактична погодинна зарплата учасників технологічної підготовки (із врахуванням всіх доплат);
- вартість матеріалів для виготовлення дослідних взірців, спеціальної технологічної оснастки (у нашому випадку дослідного взірця та спеціального оснащення не виготовляються);
- процент цехових та загальноцехових витрат до прямої заробітної плати.

Всі дані для розрахунку кошторису витрат приймаємо за попередніми розрахунками. Пряма заробітна плата конструкторів, технологів, креслярів і копіювальників визначається за формулою:

$$Z_{np} = T_{zag} \cdot C_r, \quad (7.3)$$

де  $T_{zag}$  – загальна трудомісткість по кожному етапу, год;

$C_r$  – середньогодинна оплата праці робітників відповідної категорії.

Для конструкторів та технологів приймаємо СГ у розмірі 40,5 грн/год., для креслярів і копіювальників – 7,5 грн./год.

Доплати приймаємо у розмірі 50%, соціальне страхування – у розмірі 37% від загального фонду зарплати.

Визначаємо сумарну зарплату по відповідних категоріях працюючих:

а) для конструкторів:

$$ЗПР = 4190 \cdot 1,5 = 6285 \text{ грн.}$$

б) для технологів:

$$\text{ЗПР} = 810,8 \cdot 15 = 12162 \text{ грн.}$$

в) для креслярів і копіювальників:

$$\text{ЗПР} = 4190 \cdot 0,9 = 377 \text{ грн.}$$

Доплати до прямої зарплати:

а) для конструкторів:

$$62850 \cdot 0,5 = 31400 \text{ грн.}$$

б) для технологів:

$$12162 \cdot 0,5 = 6081 \text{ грн.}$$

в) для креслярів і копіювальників:

$$377 \cdot 50 = 1850 \text{ грн.}$$

Додаткова зарплата:

а) для конструкторів:

$$(62850 + 31400) \cdot 0,2 = 18600 \text{ грн.}$$

б) для технологів:

$$(12162 + 6081) \cdot 0,2 = 91215 \text{ грн.}$$

в) для креслярів і копіювальників:

$$(377 + 1850) \cdot 0,2 = 1100 \text{ грн.}$$

Визначаємо сумарну зарплату по відповідних категоріях працюючих із врахуванням коштів на соціальне страхування:

а) для конструкторів:

$$(62850 + 31400 + 18600) \cdot 1,52 = 169200 \text{ грн.}$$

б) для технологів:

$$(12162 + 6081 + 91215) \cdot 1,52 = 41594 \text{ грн.}$$

в) для креслярів і копіювальників:

$$(377 + 1850 + 1100) \cdot 1,52 = 672 \text{ грн.}$$

Отримані дані зводимо у табл. 7.4.

Таблиця 7.4. – Кошторис витрат на технічну підготовку виробництва

Статті витрат по етапах	Сума, грн.
-------------------------	------------

Конструкторська підготовка виробництва	169200
Технологічна підготовка виробництва	41594
Організаційна підготовка виробництва	216600
Всього витрат	18465,047

### 7.3. Система показників економічної ефективності нової машини

#### 7.3.1. Визначення собівартості і ціни модернізованого верстата

Цехова собівартість виготовлення верстата визначається за формулою:

$$Ц = M_{заг} + З_{заг} + P_{ц} , \quad (7.4)$$

де  $M_{заг}$  – загальна сума витрат на основні матеріали та покупні вироби для проекрованої машини, грн;

$$M_{заг} = \sum_{i=1}^K M_{пок.вир}$$

де  $M_{пок.вир}$  – витрати по кожному виду покупних виробів, грн;

$$З_{заг} = З_o + З_{дод} + З_{дон}$$

де  $З_{заг}$  – витрати по кожному виду покупних виробів, грн;

$$З_o = P \cdot K_{сер} \cdot C \cdot \Phi_p \text{ або } З_o = K_{сер} \cdot T$$

де  $K_{сер}$  – середньогодинна тарифна ставка виробничих робітників, грн;

$$K_{сер} = K_M + (K_B - K_M) \cdot (P_{сер} - P_M)$$

де  $K_M$  – менша з двох суміжних тарифних ставок;

$K_B$  – більша з двох суміжних тарифних ставок;

$P_{сер}$  – середній тарифний розряд виробничих робітників;

$P_M$  – більший тарифний розряд, що відповідає меншій з двох суміжних тарифних ставок.

$T$  – трудомісткість виготовлення проектового верстата.

Доплату для робітників приймаємо у розмірі 20%.

Соціальне страхування – у розмірі 61% від загального фонду зарплати.

В заводську собівартість входять:

– цехова собівартість;

- витрати на утримання та експлуатацію обладнання (80% від  $Z_o$ );
- цехові витрати (200% від  $Z_o$ );
- загальнозаводські витрати (50% від  $Z_o$ ).

Визначаємо витрати на основні матеріали за формулою:

$$M_{np} = E \cdot C_M \cdot M_{чорн} - (M_{чорн} - M_{чист}) \cdot C_o$$

де  $M_{чист} = 5000$  кг – чиста маса деталей верстата без покупних виробів;

$E$  – коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати (8-10% від ціни матеріалу);

$C_M = 3500$  грн. – ціна 1т. матеріалу;

$C_o = 660$  грн. – договірна ціна однієї тони відходів;

$M_{чорн}$  – чорнова маса деталей конструкції, кг;

$$M_{чорн} = \frac{M_{чист}}{K_M}$$

де  $K_M = 0,75$  – коефіцієнт використання матеріалу;

$$M_{чорн} = \frac{5000}{0,75} = 6667 \text{ кг}$$

$$M = 1,1 \cdot 3500 \cdot 6,667 - (6,667 - 5,0) \cdot 660 = 24570 \text{ грн.}$$

Визначаємо загальну суму витрат на основні матеріали та покупні вироби:

$$M = 24570 + 2500 = 27070 \text{ грн.}$$

Визначаємо основну зарплату основних виробничих робітників:

$$Z_o = 0,3 \cdot M_{заг}$$

$$Z_o = 0,3 \cdot 27070 = 8121 \text{ грн.}$$

Визначаємо додаткову зарплату основних виробничих робітників:

$$Z_{од} = 0,2 \cdot Z_o$$

$$Z = 0,2 \cdot 8121 = 1624,2 \text{ грн.}$$

$$Z = (8121 + 1624,2) \cdot 0,1 = 974,52 \text{ грн}$$

$$Z = 0,37 \cdot (8121 + 1624,2 + 974,52) = 3966 \text{ грн.}$$

Загальна зарплата:

$$Z = 8121 + 1624,2 + 974,52 + 3966 = 14685,72 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання складають:



$$0,6 \cdot 8121 = 4872,6 \text{ грн.}$$

Цехові витрати:

$$0,2 \cdot 8121 = 1624,2 \text{ грн.}$$

Загальнозаводські витрати:

$$0,5 \cdot 8121 = 4060,5 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 7.5.

Таблиця 7.5. – Кошторисна калькуляція собівартості та відпускна ціна проектного верстата

№ п/п	Статті витрат	Сума, грн.	% до підсумку	Джерела отримання даних
1	2	3	4	5
1	Сировина та основні матеріали за вирахуванням відходів	6010	7,83	За розрахунками
2	Напівфабрикати, покупні, комплектуючі вироби	2500	0,62	--
3	Основна заробітна плата виробничих робітників	8121	2,54	--
4	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1624,2	0,1	--
5	Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників (від основної і додаткової зарплати)	3966	2,04	--
6	Витрати на освоєння та підготовку виробництва	216600	58,32	Табл.
7	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	6496,8		80% від п.3
8	Цехові витрати	16242	2,03	200% від п.3
9	Загальнозаводські витрати	4060,5	12,2	50% від п.3
10	Разом заводська собівартість	265620,5	5,07	Сума п.1+п.9
11	Невиробничі витрати	26562,05	1,27	3% від п.10
12	Відрахування у фонд Чорнобиля	1762,29	2,42	12% від фонду зарплати
13	Відрахування у фонд зайнятості і пенсійний фонд	440,57	0,3	3% від фонду зарплати
14	Повна собівартість	302467,41	0,09	Сума п.10-п.13
15	Плановий прибуток	60493,48	16,67	20% від п.14
16	Відпускна ціна	362960,89	100	сума п.14-п.15

### 7.3.2. Розрахунок витрат у споживачів нової техніки

Визначення годинної продуктивності верстата і коефіцієнти приведення (еквівалентності).

Коефіцієнт приведення (еквівалентності) визначається за формулою:

$$K_{np} = \frac{T_{ум1} + \frac{T_{нз1}}{n}}{T_{ум2} + \frac{T_{нз2}}{n}} \cdot \frac{K_{з1}}{K_{з2}}, \quad (7.5)$$

де  $T_{шт1} = 5,11$  хв;  $T_{шт2} = 2,64$  хв – середній штучний час на верстатах порівнюваних варіантів;

$T_{п1} = 20$  хв;  $T_{п2} = 20$  хв – підготовчо-заклучний час на партію деталей за 1-м та 2-м варіантами.

Визначаємо величину партії запуску за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{F}, \quad (7.6)$$

де  $N = 110000$  шт. – річна програма випуску деталей;  
 $a$  – необхідний запас деталей на складі для безперебійної роботи складального цеху, днів; для великих деталей  $a = 2-3$  дні, для середніх  $a = 5$  днів, для мілких  $a = 10,12,24$  дні; Приймаємо  $a = 12$  днів.;

$F$  – число робочих днів в році; при  $2^x$  днях відпочинку  $F=254$  днів.

$$n = \frac{10000 \cdot 5}{254} = 197 \text{ шт}$$

$$K_{np} = \frac{51,1 + \frac{20}{197}}{26,4 + \frac{20}{197}} \cdot \frac{0,8}{0,75} = 2,4$$

Годинна продуктивність верстата визначається за формулою:

$$B_{год} = \frac{1}{T_{шт.к} \cdot \frac{1}{K_{np}}}, \quad (7.7)$$

де  $T_{шт.к}$  штучно-калькуляційний час;

$$T_{шт.к} = T_{ум} + \frac{T_{нз}}{n}$$

$$T_{шт.к} = 26,4 + \frac{20}{197} = 0,44 \text{ год}$$

$$B_{год} = \frac{1}{0,44 \cdot \frac{1}{2,4}} = 6 \text{ шт}$$

Річна продуктивність верстата визначається за формулою:

$$B_{річ} = B_{год} \cdot \Phi_{\partial} \cdot K_3 = \frac{\Phi_{\partial} \cdot K_3}{T_{шт.к} \cdot \frac{1}{K_n}}, \quad (7.8)$$

$B_{річн.}$  – річна продуктивність верстата;

$\Phi_{\partial} = 3988$  год. – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження обладнання.

$$B_{Брічн.} = \frac{3988 \cdot 0,8}{0,75 \cdot \frac{1}{1,1}} = 4679 \text{ шт}$$

$$B_{ПРрічн.} = \frac{3988 \cdot 0,75}{0,44 \cdot \frac{1}{1,1}} = 7478 \text{ шт.}$$

### 7.3.3. Визначення розрахункової кількості обладнання

Кількість обладнання визначається за формулою:

$$M = \frac{T_{шт} \cdot N_{пр}}{\Phi_{\partial} \cdot 60 \cdot K_n}, \quad (7.9)$$

$$M_B = \frac{51,1 \cdot 7478}{3988 \cdot 60 \cdot 1,1} = 1,45$$

$$M_{Пр} = \frac{26,4 \cdot 9139}{3988 \cdot 60 \cdot 1,1} = 0,75$$

Приймаємо:  $M_{Пр} = 1$  верстат;  $M_B = 2$  верстата.

### 7.3.4. Визначення кількості верстатників і наладчиків

Кількість верстатників ( $P_{\text{верст}}$ ) та кількість наладчиків ( $P_{\text{н}}$ ) визначаємо за формулою:

$$P_{\text{верст.}} = \frac{T_{\text{шт.}} \cdot N_{\text{пр}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60 \cdot K_{\text{в}}}, \quad (7.10)$$

$$P_{\text{верст.}} = \frac{5,11 \cdot 7478}{1860 \cdot 60 \cdot 1,5} = 0,228 \text{ чол.}$$

Приймаємо 1 чол.

$$P_{\text{верст.}} = \frac{5,67 \cdot 7478}{1860 \cdot 60 \cdot 1,2} = 0,317 \text{ чол.}$$

Приймаємо: 1 чол.

Таблиця 7.6. – Зведена відомість вихідних даних для розрахунку економічної ефективності

№ п/п	Найменування показників	Базовий варіант	Проектний варіант
1	2	3	4
1	Штучний час обробки, хв	5,11	2,64
2	Коефіцієнт приведення витрат	1,95	1,0
3	Продуктивність верстат, шт/год	2	5
4	Річний випуск деталей на верстаті, шт	4679	7478
5	Ремонтна складність верстата	15	15
6	Маса верстату, т	5500	5000
7	Площа, яку займає 1 верстат, м <sup>2</sup>	6,18	6,18
8	Встановлена потужність всіх двигунів, кВт	35	30
9	Розряд: – верстатників – наладчиків	III IV	III IV
10	Кількість верстатників, чол.	1	1
11	Кількість наладчиків, чол.	1	1
12	Кількість верстатів, шт.	1	1
13	Оптова (договірна) ціна верстата, грн.	18640	290260

### 7.3.5. Капітальні витрати

Собівартість і ціна нового верстата визначається за договірними цінами. Витрати на доставку, монтаж та наладку складають 8-15% від ціни обладнання. Витрати на виробничу площу будівель визначаємо за формулою:

$$C_{\text{ПЛ}} = P_{\text{ПЛ}} \cdot K_{\text{ДП}} \cdot C_{\text{Б}}, \quad (7.11)$$

де  $P_{\text{ПЛ}}$  – площа машини та обладнання в плані, м<sup>2</sup>;

$K_{\text{ДП}}$  – коефіцієнт, що враховує додаткову площу на проходи, службові приміщення. Для базового верстата:  $K_{\text{ДП}} = 2$ . Для проектового верстата:  $K_{\text{ДП}} = 2$ .

$C_{\text{Б}} = 680$  грн/м<sup>2</sup> – питома вартість виробничої площі.

Для базового верстата (1 верстат):

$$C_{\text{ПЛ.1}} = 0,9 \cdot 2 \cdot 680 = 1226 \text{ грн.}$$

Для проектового верстата (1 верстат):

$$C_{\text{ПЛ.2}} = 0,9 \cdot 2 \cdot 680 = 1226 \text{ грн.}$$

Таблиця 7.7. – Зведена таблиця капітальних затрат

Найменування	Базовий варіант			Проектний варіант		
	кількість	Ціна, грн/од.	Сума, грн.	кількість	Ціна, грн/од.	Сума, грн.
Будівлі та споруди, м <sup>2</sup>	2 × 4	560	8960	8,76 × 1	560	9811
Основне обладнання (із врахуванням доставки та монтажу)	1	260000	260000	1	380000	380000
Всього:	–	–	268960	–	–	389811

### 7.3.6. Біжучі витрати

Річні експлуатаційні (біжучі) витрати визначаються сумою таких елементів [16]:

$$C = C_{\text{М}} + C_{\text{СМ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{КР}} + C_{\text{Р}} + C_{\text{ТР}} + C_{\text{Е}} + C_{\text{ТД}} + C_{\text{И}} + C_{\text{ІР}} + P_{\text{М}}, \quad (7.12)$$

де  $C_{\text{М}}$  – витрати на сировину та матеріали, використані у техпроцесі;

$C_{ЗП}$  – витрати на зарплату виробничих робітників, зайнятих у технологічному процесі із застосування даної техніки;

$$C_{ЗП} = \sum_{i=1}^m T_C \cdot \Phi_D \cdot \eta_{\text{дод}} \cdot \eta_D \cdot \eta_C, \quad (7.13)$$

де  $T_C = 3,8$  грн – годинна тарифна ставка робітника відповідно III розряду, що обслуговує даний верстат;

$\Phi_D = 1860$  год – номінальний річний фонд часу робітника;

$\eta_D = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує доплати до основної зарплати;

$\eta_{\text{дод}} = 1,25$  – коефіцієнт перевиконання плану;

$\eta_C = 1,52$  – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування та фонд зайнятості.

За базовим варіантом:

$$C_{ЗП}^Б = 3,8 \cdot 1860 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 1,52 = 32230 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_{ЗП}^{ПР} = 3,8 \cdot 1860 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 1,52 = 16115 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на капітальний ремонт визначаємо за формулою:

$$C_{КР} = \frac{A_{КР} \cdot K}{100}, \quad (7.14)$$

де  $C_{КР}$  – амортизаційні відрахування на капітальний ремонт, грн;

$A_{КР} = 8\%$  – річна норма амортизаційних відрахувань;

$K$  – балансова вартість об'єкта техніки, грн;

$K^Б = 19640$  грн.

$K^{ПР} = 25798$  грн.

За базовим варіантом:

$$C_{КР}^Б = \frac{8 \cdot 19640}{100} = 1571 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_{КР}^{ПР} = \frac{8 \cdot 25798}{100} = 2064 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на реновацію визначають за формулою:

$$C_P = \frac{A_P \cdot K}{100}, \quad (7.15)$$

де  $C_P$  – амортизаційні відрахування на реновацію, грн;

$A_P = 5\%$  – відсоток амортизаційних відрахувань на повне відновлення (реновацію).

За базовим варіантом:

$$C_P^B = \frac{5 \cdot 19640}{100} = 982 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_P^{PP} = \frac{5 \cdot 25798}{100} = 1290 \text{ грн.}$$

Річні витрати на ремонт і технічне обслуговування верстатів укрупнено приймаються у розмірі 6% від вартості обладнання:

За базовим варіантом:

$$C_{TP}^B = \frac{6 \cdot 1 \cdot 19640}{100} = 1178 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_{TP}^{PP} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 25798}{100} = 1548 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію враховуються за доставковим тарифом:

а) по 3,6 грн/рік за кожний кВт приєднаної потужності СЕП:

За базовим варіантом:

$$C_{EP}^B = 15 \cdot 3,6 \cdot 1 = 54 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_{EP}^{PP} = 11 \cdot 3,6 \cdot 1 = 40 \text{ грн.}$$

б) за використання електроенергії – за формулою:

$$C_{EB} = M_{BCT} \cdot \Phi_d \cdot K_B \cdot K_M \cdot C_E, \quad (7.16)$$

де  $M_{BCT}$  – сумарна потужність електродвигунів, кВт (на одному верстаті).

Для базового варіанту:  $M_{BCT} = 35$  кВт. Для проектного –  $M_{BCT} = 30$  кВт.;

$\Phi_d = 3988$  год. – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання;

$K_B = 0,7$  – коефіцієнт, що враховує використання електродвигунів протягом робочого дня;

$K_M = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності електродвигунів машин;

$C_E = 0,22$  грн/кВт – відпускна ціна 1 кВт·год електроенергії з врахуванням ПДВ.

Підставивши значення отримаємо:

За базовим варіантом:

$$C_{EB}^B = 35 \cdot 3988 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,22 = 7320 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_{EB}^{PP} = 30 \cdot 3988 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,22 = 5404 \text{ грн}$$

Сумарні витрати на електроенергію складають:

$$C_E = C_{EП} + C_{EB}, \quad (7.17)$$

За базовим варіантом:

$$C_E^B = 54 + 7370 = 7424 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$C_E^{PP} = 40 + 5404 = 5444 \text{ грн.}$$

Витрати на стиснуте повітря:

При укрупнених розрахунках приймаємо 2000-3000 м<sup>3</sup> на 1 верстат при однозмінній роботі. Вартість 1000 м<sup>3</sup> стиснутого повітря становить 43,0 грн.

За базовим варіантом:

$$1 \cdot 3 \cdot 43 \cdot 2 = 257 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$1 \cdot 3 \cdot 43 \cdot 2 = 257 \text{ грн.}$$

Витрати на воду: приймаємо 10 м<sup>3</sup> на 1 верстат на рік та 25 л. на робітника в зміну.

Вартість 1 м<sup>3</sup> води становить 1,0 грн/м<sup>3</sup>.

За базовим варіантом:



$$1 \cdot 10 \cdot 1 = 10 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$1 \cdot 10 \cdot 1 = 10 \text{ грн.}$$

Витрати на побутові потреби:

За базовим варіантом:

$$25 \cdot 260 \cdot 4 \cdot 0,22 = 5720 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$25 \cdot 260 \cdot 2 \cdot 0,22 = 2860 \text{ грн.}$$

Витрати на воду: приймаємо  $10 \text{ м}^3$  на 1 верстат на рік та 25 л. на робітника в зміну.

Вартість  $1 \text{ м}^3$  води становить  $1,0 \text{ грн/м}^3$ .

За базовим варіантом:

$$1 \cdot 10 \cdot 1 = 10 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$1 \cdot 10 \cdot 1 = 10 \text{ грн.}$$

Витрати на пару:

Річна потреба пари на опалення та вентиляцію складає:

$$Q_{\Pi} = \frac{q \cdot H \cdot V}{1000 \cdot C}, \quad (7.18)$$

де  $q = 20 \text{ ккал/год}$  – потреба пари на опалення та вентиляцію на  $1 \text{ м}^3$  будівлі;

$H = 4320 \text{ год}$  – число годин в опалювальному сезоні;

$V$  – об'єм будівлі у  $\text{м}^3$  (висота будівлі 7 м);

$C = 540 \text{ ккал/год}$  – теплота випаровування.

За базовим варіантом:

$$Q_{\Pi}^{\text{Б}} = \frac{20 \cdot 4320 \cdot 15 \cdot 7 \cdot 1}{1000 \cdot 540} = 16,8 \text{ т.}$$

За проектним варіантом:

$$Q_{\Pi}^{\text{ПР}} = \frac{20 \cdot 4320 \cdot 11 \cdot 7 \cdot 1}{1000 \cdot 540} = 12,3 \text{ т.}$$

Вартість 1 т пари складає 140 грн., тоді вартість пари складе:

За базовим варіантом:

$$16,8 \cdot 140 = 2356 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$12,3 \cdot 140 = 1725 \text{ грн.}$$

Річні витрати на амортизацію та утримання будівель цеху – СУБД:

Укрупнено СУБД складає 2,5% від вартості будівель.

За базовим варіантом:

$$1226 \cdot 0,025 = 30 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$1226 \cdot 0,025 = 30 \text{ грн.}$$

Визначаємо сумарні витрати на паливо та енергію всіх видів.

За базовим варіантом:

$$7424 + 257 + 5720 + 2356 = 15757 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$5404 + 257 + 2860 + 1725 = 10246 \text{ грн.}$$

$S_{\text{п}}$  – витрати на перебазування обладнання, грн/рік. Приймаємо у розмірі 1-3% від суми статей експлуатаційних витрат;

$S_{\text{пр}}$  – витрати на інші потреби, грн/рік. Приймаємо у розмірі 10% від суми всіх попередніх статей експлуатаційних витрат;

$R_{\text{н}}$  – накладні витрати, грн/рік. Приймаємо у розмірі 30% від суми основної заробітної плати робітників, зайнятих обслуговуванням і керуванням технікою.

Визначаємо розрахунком статті експлуатаційних витрат по новій та базовій техніці, які заносимо в табл. 7.8, де також розраховується підсумкова величина економії по кожній із статей витрат.

Таблиця 7.8. – Експлуатаційні (поточні) витрати техніки по варіантах (на рік)

Статті витрат	Сума, грн.		Економія (+) Перевитрати (-)
	Базовий варіант	Проектний варіант	
1	2	3	4
Сировина та матеріали	6010	46010	0
Заробітна плата робітників, зайнятих у техпроцесі	8121	8121	+
Амортизаційні відрахування по обладнанню	3680	5332	-
Витрати на утримання і поточний ремонт обладнання	2760	3999	-
Витрати на амортизацію та утримання будівель	5,53	5,53	0
Витрати на паливо, енергію і мастильні матеріали	21625	18014	+
Витрати на перебазування обладнання	13221,66	10667,99	+
Інші витрати	41061	20160	+
Накладні витрати	263640	131820	+
Всього	1229348	639954	+

### 7.3.7. Узагальнюючі техніко – економічні показники модернізованого верстата

Для комплексної оцінки нового верстата використовують технічні та економічні показники. Економічний ефект від виробництва та використання одиниці нової техніки за весь термін її служби буде складати:

$$E_{EP} = C_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(U_1 - U_2) - E_H(K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - C_2 \quad (7.19)$$

де  $C_1, C_2$  – оптова ціна базового і нового верстата, грн;

$C_1 = 260000$  грн.;

$C_2 = 380000$  грн;

$\frac{B_2}{B_1} = K_{\text{ПР}}$  – коефіцієнт, який враховує ріст продуктивності одиниці

обладнання (коефіцієнт приведення),  $K_{\text{ПР}} = 2,4$  за попередніми розрахунками;

$P_1, P_2$  – частка амортизаційних відрахувань від балансової вартості на повне відновлення базового та нового взірця верстата;

Визначаються як величини, обернені до термінів служби взірців техніки:

$$P = \frac{1}{T_C}$$

де  $T_{C1} = 5$  років,  $T_{C2} = 6$  років – терміни служби старої і нової техніки.

$$P_1 = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$P_2 = \frac{1}{6} = 0,16$$

Коефіцієнт обліку зміни терміну служби нового верстата порівняно із базовим:

$$\frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} = \frac{0,2 + 0,15}{0,16 + 0,15} = 1,13$$

де  $E_H = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$U_1 = 6393$  грн.;  $U_2 = 3915$  грн. – річні експлуатаційні витрати споживача при використанні ним базової і нової машини в розрахунку на річний об'єм продукції;

$K'_1 = K'_2 = 1226$  грн. – супутні капітальні вкладення споживача (без вартості машини) при використанні базової та нової техніки в розрахунку на річний обсяг продукції.

$$E_{EP} = 260000 \cdot 2,4 \cdot 1,13 + \frac{(6393 - 3915) - 0,15(1226 - 1226)}{0,16 + 0,15} - 380000 =$$

$$= 333100 \text{ грн}$$

Ріст продуктивності праці при впровадженні проектного верстата визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{P_B - P_{II}}{P_B} \cdot 100\% \quad (7.20)$$

де  $P_{II} = 2$ ,  $P_B = 5$  – продуктивність проектного та базової машини.

$$\Delta P = \frac{5 - 2}{5} \cdot 100\% = 60\%$$

Зниження собівартості продукції визначається за формулою:

$$\Delta C_{\delta} = \frac{C_B - C_{II}}{C_B} \cdot 100\% \quad (7.21)$$

$$\Delta C_{\delta} = \frac{5,74 - 3,52}{5,74} \cdot 100\% = 38\%$$

де  $C_{\delta}$  і  $C_{\Pi}$  – собівартість одиниці продукції при використанні базової та проекрованої машини

Отримані згідно розрахунків техніко-економічні показники нової техніки зводимо в табл. 7.9.

Таблиця 7.9. – Зведені показники економічної оцінки нової техніки

Найменування показників	Одиниці вимірювання	Значення показників	
		Базова техніка	Нова техніка
1	2	3	4
Річна економічна продуктивність	шт.	4679	7478
Загальні капітальні вкладення	грн.	205306	310070
Питомі капітальні вкладення	%	1,74	2,15
Річні експлуатаційні витрати	грн.	6393	3915
Собівартість одиниці продукції	грн.	25,8	18,6
Економічний ефект за весь термін служби	грн.		283100
Ріст продуктивності праці	%		60
Термін окупності додаткових капіталовкладень	рік		0,2
Зниження собівартості одиниці продукції	%		37

З умови  $K_2 < K_1$  і  $C_2 < C_1$  випливає, що впровадження проектового верстата для обробки деталі є економічно вигідним.

Висновок: таким чином, провадження проектового технологічного процесу механічної обробки деталі-представника дозволяє скоротити кількість металорізальних верстатів та чисельність працюючих. Собівартість деталі зменшилась з 25,8 грн. до 18,6 грн. Продуктивність праці зросла на 60%, економічний ефект від впровадження нового верстата становить 283100 грн.

## 8. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 8.1. Охорона праці

#### 8.1.1. Поняття горіння та класифікація його видів

Горіння це комплекс швидкопротікаючих хімічних реакцій окислення, при яких виділяється тепло.

Залежно від швидкості хімічної реакції та утворення горючої суміші горіння може відбуватися у вигляді:

тління – швидкість до кількох см/с;

власного горінні – швидкість до кількох м/с;

вибуху – швидкість кілька сотень м/с;

детонації – швидкість до декількох тисяч м/с.

Швидкість процесу горіння залежить від кількісних і якісних показників горючої суміші та імпульсу запалювання, які в процесі горіння можуть змінюватися або залишатися постійними.

Залежно від швидкості розповсюдження полум'я горіння буває:

- дефлаграційне, що відбувається з дозвуковими швидкостями (від кількох см до декількох метрів за секунду);
- детонаційне, що має надзвукові швидкості.

Горіння буває стійким тоді, коли воно не супроводжується підвищенням тиску. Підвищення тиску призводить до вибухового горіння. Реальні вибухи носять переважно дефлаграційний характер.

У процесі горіння розповсюдження полум'я посилює стиснення газу.

Стиснення відбувається у вигляді слабких ударних хвиль. Кожна ударна хвиля проходить з більшою швидкістю, ніж попередня. Перед фронтом полум'я ударні хвилі з'єднуються в одну потужну хвилю. Така ударна хвиля призводить до сильного стиснення і розігрівання газу. З підвищенням температури в ударній хвилі виникає новий стійкий режим – детонація, який характеризується різким

стрибком тиску до 20-30 кПа в точці утворення ударної хвилі і надзвуковими швидкостями.

Дозвукове горіння поділяється на ламінарне та турбулентне.

Ламінарне горіння характеризується пошаровим поширенням полум'я по свіжій горючій системі, турбулентне – змішуванням шарів потоку.

Горючі системи можуть бути хімічно однорідними і неоднорідними, внаслідок чого горіння буває:

- гомогенним – це така горюча система, в якій горюча речовина рівномірно перемішана з повітрям (гази, пари, пил). Таке горіння називають ще кінетичним – це горіння заздалегідь підготовленої суміші.
- гетерогенне або дифузійне – це процес горіння, який лімітується дифузією кисню у зону полум'я, коли речовини перебувають у різних агрегатних станах (рідкі і тверді горючі речовини). Дифузія як процес протікає повільно.

Процес горіння може бути повним і неповним. При надмірній кількості кисню у повітрі горіння буде повним, при цьому утворюються продукти, які не можуть більше горіти – вуглекислий або сірчаний газ, пари води, азоту.

Неповне згорання відбувається при недостатній кількості кисню і супроводжується утворенням продуктів, які є вибухонебезпечними й токсичними – оксид вуглецю, альдегіди, пари метилового спирту, ацетону, які при зміні умов горіння можуть самі спалахувати або чинити отруйну дію на організм людини.

### **8.1.2. Способи і засоби гасіння пожеж**

Комплекс заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що виникла, називається пожежогасінням.

Основою пожежогасіння є примусове припинення процесу горіння. На практиці використовують декілька способів припинення горіння.

Спосіб охолодження ґрунтується на тому, що горіння речовини можливе тільки тоді, коли температура її верхнього шару вища за температуру його

запалювання. Якщо з поверхні горючої речовини відвести тепло, тобто охолодити її нижче температури запалювання, горіння припиняється.

Спосіб розведення базується на здатності речовини горіти при вмісті кисню у атмосфері більше 14-16% за об'ємом. Зі зменшенням кисню в повітрі нижче вказаної величини полум'яне горіння припиняється, а потім припиняється і тління внаслідок зменшення швидкості окислення. Зменшення концентрації кисню досягається введенням у повітря інертних газів та пари ззовні або розведенням кисню продуктами горіння (у ізольованих приміщеннях).

Спосіб ізоляції ґрунтується на припиненні надходження кисню повітря до речовини, що горить. Для цього застосовують різні ізолюючі вогнегасні речовини (хімічна піна, порошок та інше).

Спосіб хімічного гальмування реакцій горіння полягає у введенні в зону горіння галоїдно-похідних речовин (бромисті метил та етил, фреон та інше), які ігри потраплянні у полум'я розпадаються і з'єднуються з активними центрами, припиняючи екзотермічну реакцію, тобто виділення тепла. У результаті цього процес горіння припиняється.

Спосіб механічного гасіння полум'я сильним струменем води, порошку чи газу.

Спосіб вогнеперешкоди заснований на створенні умов, за яких полум'я не поширюється через вузькі канали, переріз яких менше критичного.

Реалізація способів припинення горіння досягається використанням вогнегасних речовин та технічних засобів. До вогнегасних належать речовини, що мають фізико-хімічні властивості, які дозволяють створювати умови для припинення горіння. Серед них найпоширенішими є вода, водяна пара, піна, газові вогнегасні склади, порошки, пісок, пожежостійкі тканини тощо. Кожному способу припинення горіння відповідає конкретний вид вогнегасних засобів. Наприклад, для охолодження використовують воду, водні розчини, снігоподібну вуглекислоту; для розведення горючого середовища - діоксид вуглецю, інертні гази, водяну пару; для ізоляції вогнища - піну, пісок; хімічне гальмування горіння здійснюється за допомогою брометила, хладону, спеціальних порошоків.



Вибір вогнегасної речовини залежить від характеру пожежі, властивостей і агрегатного стану речовин, що горять, параметрів пожежі (площі, інтенсивності, температури горіння тощо), виду пожежі (у закритому або відкритому повітрі), вогнегасної здатності щодо гасіння конкретних речовин та матеріалів, ефективності способу гасіння пожежі.

Оскільки вода є основною вогнегасною речовиною, необхідно приділити особливу увагу створенню та працездатності надійних систем водопостачання.

Відповідно до протипожежних норм, кожне промислове підприємство обладнують пожежним водопроводом. Він може бути об'єднаним з господарсько-питним або водопроводом, який використовують у виробничому процесі. Воду також можна подавати до місця пожежі з водоймищ річок або підвозити в автоцистернах.

Основними елементами устаткування водяного пожежогасіння на об'єктах є пожежні гідранти, пожежні крани, пожежні рукави, насоси та ін.

Пожежні гідранти використовують для відбору води із зовнішнього водопроводу. Біля місця їх розташування повинні бути встановлені покажчики з нанесеними на них: літерним індексом "ПГ", цифровими значеннями відстані в метрах від покажчика до гідранта, внутрішнього діаметра трубопроводу в міліметрах, зазначенням виду водопровідної мережі (тупикова чи кільцева).

Пожежний кран являє собою комплект пристроїв, який складається із клапана (вентиля), встановленого на пожежному трубопроводі і обладнаного пожежною з'єднувальною головкою, та пожежного рукава з ручним стволем. Пожежні крани повинні розміщуватись у вбудованих або навісних шафах, які мають отвори для провітрювання і пристосовані для опломбування та візуального огляду їх без розкривання. Пожежні рукави необхідно утримувати сухими, складеними в "гармошку" або скатку, приєднаними до кранів та стволів. Не рідше одного разу на 6 місяців їх треба розгортати та згортати заново. На дверцятах пожежних шафок повинні бути вказані після літерного індексу "ПШ" порядковий номер крана та номер телефону для виклику пожежної охорони.

Для ліквідації невеликих осередків пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів, застосовуються

первинні засоби пожежогасіння. До них належать: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати), пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо). Їх застосовують для ліквідації невеликих загорянь до приведення в дію стаціонарних та пересувних засобів гасіння пожежі або до прибуття пожежної команди. Кожне приміщення, відділення, цех, транспортні засоби повинні бути забезпечені такими засобами у відповідності з нормами.

## **8.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях**

### **8.2.1 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до впливу уражаючих факторів ядерної зброї**

#### **8.2.1.1 Методика оцінки стійкості промислових об'єктів.**

Стійкість роботи об'єкта представляє собою спроможність в умовах військового часу виготовляти продукцію в запланованому об'ємі і номенклатурі, а при одержанні слабких і частково середніх руйнувань відновлювати своє виробництво в мінімальні терміни. Ціль оцінки стійкості об'єкта полягає у виявленні слабких його елементів, щоб у подальшому провести інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості об'єкта в цілому.

Оцінка стійкості роботи об'єкта - це всебічне вивчення підприємства з погляду спроможності його протистояти впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, продовжувати роботу і відновлювати виробництво при одержанні слабких руйнувань.

Промислові підприємства відрізняються одне від одного як по конструктивному рішенню, так і по технологічному процесі. Розходження об'єктів полягає в будинках і спорудженнях, устаткуванні і технології виробництва, комунально-енергетичних мережах і території, на якій розташований об'єкт. Тому в усіх випадках оцінка стійкості кожного об'єкта має свої особливості і вимагає конкретного підходу до рішення цього питання. У даному випадку можливо розглянути тільки загальні для всіх

об'єктів питання оцінки їхньої стійкості до впливу вражаючих факторів зброї масового знищення.

Оцінка стійкості роботи об'єкта починається з вивчення району розташування. Об'єкт може знаходитися в місті, за межею його проектної забудови і на деякій віддалі від міста. Досліджується територія району, його структура, щільність і тип забудови, сусідні об'єкти і можливість виникнення на них вторинних чинників поразки. На об'єкті визначаються щільність забудови, розміщення основних будинків і споруджень, що впливають на характер руйнування, можливе утворення завалів і виникнення пожеж. Особлива увага приділяється ділянкам, де можливе виникнення небезпечних вторинних чинників ушкоджень. Беруться на облік усі будинки і спорудження, робиться оцінка їхньої статичної стійкості. Вивчаються кожний цех і його окремі елементи як по конструктивному рішенню, так і за матеріалами, що були використані в будівництві. Розглядаються умови розміщення внутрішнього технологічного устаткування і визначаються види руйнувань і ушкоджень, що можуть мати місце при ядерному вибуху і заваленні огорожуваних конструкцій цехів. Особливо важливо визначити захист цінного й унікального устаткування, насиченість виробництва автоматикою і можливість продовження виробництва у випадку виходу з ладу контрольно-вимірювальної апаратури. Обстежуються комунально-енергетичні системи об'єкта і робиться оцінка стійкості споруд і ліній, тобто визначаються параметри уражуючих факторів, при яких комунально-енергетичні мережі одержать ті або інші руйнування. Визначається забезпеченість працюючих захисними спорудженнями: встановлюється кількість сховищ, укриттів і оцінюються їхні захисні властивості. Вивчається система керування, зв'язку й оповіщення на основі вивчення стану захищених пунктів керування, вузлів і ліній зв'язку. Аналізується система матеріально-технічного постачання і виробничих зв'язків. Встановлюється об'єм запасів і можливих термінів продовження роботи без постачань; визначається відповідність їхньої кількості і номенклатури вимогам, запропонованим до виробництва у військовий час. Оцінюється стійкість складів сировини, комплектуючих виробів, готової продукції й інших матеріалів, а також сховища паливних матеріалів.

Досліджується підготовка об'єкту до відновлення виробництва у випадку одержання слабких або середніх руйнувань. Аналіз виробничої діяльності об'єкта дозволяє виявити слабкі елементи, ділянки і підготувати план підвищення стійкості їхньої роботи і план відновлювальних робіт, а також забезпечити їх будівельно-монтажною і проектною документацією.

Оцінка стійкості роботи об'єкта організовується начальником ЦО (директором підприємства), його штабом і головними фахівцями: головним інженером, головним механіком, головним технологом, головним енергетиком. До оцінки стійкості залучаються начальники служб і інші фахівці.

### **8.2.1.2 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу ударної хвилі**

Критерієм для визначення стійкості промислового підприємства до впливу ударної хвилі ядерного вибуху є розмір надлишкового тиску, при якому будинки і спорудження об'єкта зберуться або одержать слабкі і середні руйнування.

При оцінці стійкості об'єкта необхідно виявити найбільш уразливі елементи і ділянки, від яких залежить робота всього підприємства. Після оцінки окремих споруджень оцінюється об'єкт у цілому. При цьому стійкість об'єкта визначається по тій будівлі або спорудженню, що руйнується при найменшому надлишковому тиску. Після оцінки стійкості об'єкта намічаються заходи, що необхідно провести для підвищення стійкості об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного вибуху. Для цього визначають доцільні межі підвищення стійкості споруди.

### **8.2.1.3 Оцінка стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання**

Критерієм стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання є світловий імпульс, при якому відбувається загоряння тих або інших будівель і споруд і виникнення пожеж. При оцінці стійкості враховуються якість

будівельних матеріалів, характеристика будівель і споруд, особливості виробництва.

Виникнення пожеж у першу чергу залежить від того, які будівельні матеріали використані при зведенні будівель і споруд об'єкта. Всі будівельні матеріали по загоранню поділяють на три групи: незаймисті, важкозаймисті і займисті.

Незаймисті - це такі матеріали, що під впливом вогню або високої температури не займаються, не жевріють і не обвуглюються. До них відносяться всі природні і штучні неорганічні матеріали, а також застосовувані в будівництві метали.

Важкозаймисті - це такі матеріали, що під впливом вогню або високої температури важко займаються, жевріють або обвуглюються і продовжують горіти або жевріти тільки при наявності джерела вогню, а при його відсутності горіння або тління припиняється. До таких матеріалів відносяться матеріали в склад яких входять негорючі і горючі складові, наприклад, асфальтовий бетон, гіпсові і бетонні деталі з органічними заповнювачами; глиносолом'яні матеріали при щільності не менше  $900 \text{ кг/м}^3$ ; цементний фіброліт; войлок, вимочений у глиняному розчині, і ін.

Займисті - це такі матеріали, що під впливом вогню або високої температури займаються або жевріють і продовжують горіти або жевріти після видалення джерела вогню. До таких матеріалів відносяться всі органічні матеріали не піддані глибокому просоченні антипіренами.

Найнебезпечнішими є будівлі і споруди, виконані з займистих матеріалів. Але навіть і будівлі, виконані з незаймистих матеріалів, можуть витримати вплив вогню або високих температур тільки визначений термін. Межа вогнестійкості конструкцій визначається часом у годинах, протягом якого не з'являються наскрізні тріщини, конструкція не втрачає несучої здатності, не завалюється і не нагрівається до температур порядку  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  на протилежній стороні.

За ступенем займистості будівлі і споруди діляться на п'ять груп (I, II, III, IV і V) в залежності від вогнестійкості частин будівлі і спорудження. Вогнестійкими будівлями або спорудженнями є цегельні (бетонні) будівлі I і II

ступеня вогнестійкості, в яких усі частини виконані з негорючих матеріалів. Особливо небезпечними в протипожежному відношенні є будівлі *IV* і *V* ступеня вогнестійкості.

Виникнення пожеж залежить також від технологічного процесу і характеру виробництва. Тому об'єкти оцінюються по пожежній небезпеці в залежності від характеру виробництва. При цьому виникнення пожеж можливо від світлового випромінювання і руйнування виробничих будівель ударною хвилею.

За пожежною безпекою всі об'єкти поділяють на п'ять категорій: *A*, *B*, *B*, *Г* і *Д*.

До підприємств категорії *A* відносяться нафтопереробні заводи, хімічні підприємства, склади бензину, цехи обробки і застосування металевого натрію, калію й ін.

До підприємств категорії *B* відносяться цехи приготування і транспортування вугільного пилу і деревної муки, промивочно-пропарювальні станції цистерн і іншої тари від мазуту й інших рідин з температурою спалаху пар 28...120 °С; цехи обробки синтетичного каучуку, цехи виготовлення цукрової пудри і склади кіноплівки.

До підприємств категорії *B* відносяться лісопильні, деревообробні, столярні, модельні і лісотарні цехи; відкриті склади олії, масляне господарство електростанцій; цехи текстильного виробництва.

До підприємств категорії *Г* відносяться металургійні виробництва, підприємства гарячої обробки металу, термічні й інші цехи, а також котельні.

До підприємств категорії *Д* відносяться підприємства з холодної обробки металів та інші, зв'язані із збереженням і переробкою негорючих матеріалів.

Найбільше небезпечними в пожежному відношенні є підприємства категорії *A* і *B*. Практично можливість виникнення пожеж у виробничих будівлях категорій *B*, *Г* і *Д* знаходиться в залежності від ступеня вогнестійкості будинків. Масові пожежі можуть виникати в будівлях і спорудженнях, які зруйновані не цілком, тобто при надлишкових тисках у фронті ударної хвилі до 50 *кПа* для будівель *I* - *III* ступеня вогнестійкості (із кам'яними стінами) і 20 *кПа* для

будівель IV - V ступеня вогнестійкості (із дерев'яними стінами). Отже, масові пожежі можуть виникати в межах відстаней від епіцентру вибуху, на яких діють надлишкові тиски ударної хвилі від 10 до 50 *кПа*.

Таким чином, при оцінці стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання уважно вивчаються всі будівлі, споруди і виробничі пристрої, розташовані на території підприємства; визначаються місця можливого загоряння, а також аналізуються наслідки, що можуть виникнути від пожежі з врахуванням характеру виробництва і забудов навколо об'єкту. Після оцінки вогнестійкості будівель, споруджень і вивчення характеру технологічного процесу робляться висновки про стійкість до впливу світлового випромінювання об'єкта в цілому. На підставі проведеної оцінки виробляються заходи щодо підвищення вогнестійкості об'єкта.

#### **8.2.1.4 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження**

Робота об'єкта в першу чергу залежить від стану людей, і при ураженні радіацією робітників та службовців підприємство працювати не може.

Критерієм оцінки стійкості роботи об'єкта є доза радіації, що можуть одержати робітники та службовці, що опинилися в зоні зараження.

Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації включає визначення коефіцієнтів захисту (коефіцієнтів послаблення радіації) для будівель, споруджень, сховищ і укриттів. При оцінці стійкості роботи об'єкта до впливу радіоактивного зараження визначається також можливість герметизації виробничих приміщень з метою зменшення проникнення в них радіоактивної пилі. Крім того, при оцінці стійкості до впливу радіації визначається наявність матеріалів, приборів і апаратури, чутливих до дії радіації.

На підставі оцінки стійкості роботи об'єкта до впливу радіоактивного зараження визначаються режими роботи об'єкта в різних умовах радіоактивного зараження.

## 9. ЕКОЛОГІЯ

### 9.1. Актуальність охорони навколишнього середовища

На даний момент людство знаходиться з досить суперечливим надбанням. З одного боку - бурхливі темпи загальнолюдського прогресу, а з другого - його негативні наслідки прямопротилежної спрямованості. Останні проявляються, насамперед, у надмірному забрудненні навколишнього середовища й інтенсивній його деградації. Регресивні тенденції набули сталого характеру через необхідність випереджаючого зростання витрат на охорону природи, подолання наслідків глобальних екологічних типу Чорнобильської аварії, підвищення безпеки і поліпшення здоров'я населення.

У вирішенні цих проблем особливої актуальності набуває переосмислення людством шляхів подальшого розвитку. Для України це завдання, безперечно, є пріоритетним, якому мають бути підпорядковані державна політика, господарська діяльність, наукові розробки. З цього погляду, наша держава потребує переходу від здійснення комплексних заходів, спрямованих на охорону довкілля, до сталого еколого-економічного функціонування.

Очевидна можливість до помітної деградації біосфери, а в наш вік науково-технічної революції – до економічної кризи.

Основними причинами цієї кризи є:

- історично-вкорінена думка, що самоочищувальна можливість природи безгранична;
- демографічний вибух, спричинений великим ростом населення планети, його урбанізації та індустріалізації планети;
- інтенсивний розвиток науки, промисловості, транспорту з відповідним різким ростом викидів і відходів, гонка озброєнь, споживацька спрямованість науково-технічної революції, вичерпання природних ресурсів, хімізація сільського господарства.
- отруєння повітря, води і ґрунту промисловими відходами;
- гострий брак питної води, а може і кисню в повітрі;
- виснаження мінеральних ресурсів і енергетичний голод.



## 9.2. Аналіз забруднень та існуючих методів очищення викидів і скидів у цехах механічної обробки

Машинобудівні підприємства включають в себе заготівельні і ковальсько-пресові цехи, цехи термічної та механічної обробки металів, цехи покриттів і ливарні цехи. В процесі виробництва машин та устаткування широко використовують зварювальні роботи, механічну обробку металів, переробку неметалічних матеріалів, лакофарбові операції і т.п. Розглянемо характер забруднень і методи очищення викидів і скидів у цехах механічної обробки машинобудівного підприємства.

Механічна обробка металів на верстатах в цехах механічної обробки супроводжується виділенням пилу, туманів масел і емульсій, які через вентиляційну систему викидаються з приміщень. Значне виділення пилу спостерігається при механічній обробці неметалічних матеріалів. Так, при обробці текстоліту виділення пилу (г/год) складає: на токарних верстатах 50 ... 80; на фрезерних - 100 ... 120; на зубофрезерних - 20 ... 40. При механічній обробці полімерних матеріалів одночасно з пилом можуть виділятися пари різних хімічних речовин і з'єднань (фенолу, формальдегіду, стиролу і ін), що входять до складу оброблюваних матеріалів. Нижче наведено кількість (г) парів води, туманів масел та емульсії, що виділяються в 1 год при роботі верстатів у розрахунку на 1 кВт потужності встановлюваних на верстатах електродвигунів. Кількість (г) парів води, туманів масел і емульсії, що виділяються в 1 год при роботі верстатів в розрахунку на 1 кВт потужності встановлюваних на верстатах електродвигунів.

У процесах шліфування та полірування виділяється велика кількість тонкодисперсного пилу. Пил, що утворюється в процесі абразивної обробки, на 30-40% складається з матеріалу абразивного круга, на 60-70% - з матеріалу оброблюваного виробу. Кількість пилу залежить від розмірів і твердості оброблюваного матеріалу, діаметра і окружної швидкості круга, а також способу подачі виробу. При зачистці і шліфовці виробів виділяється більше 50 г/год пилу

з одного верстата. При заточуванні інструменту пил має наступний фракційний склад:

Так, верстати з емульсійним охолодження виділяють за 1 годину 1 кВт потужності: води - 150 г, туману емульсії - 0,0053 г, а шліфувальні - відповідно -150 г та 0,165г.

При шліфуванні виділяється пил, кількість якого залежить від діаметра шліфувального круга (табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Кількість пилу, що виділяється в залежності від діаметру шліфувального круга

Діаметр круга (мм)	150	400	900
Кількість пилу (г/год)	117	180	310

Основні заходи захисту атмосфери від забруднень промисловими туманами передбачають широке використання пилоловлюючих апаратів і систем. Виходячи з сучасної класифікації таких систем, заснованої на принципових особливостях процесу очищення, пилоочисного обладнання можна розділити на чотири групи: сухі пиловловлювачі, мокрі пиловловлювачі, електрофільтри і фільтри. Пиловловлювачі різних типів, і тому числі і електрофільтри, застосовують при підвищених концентраціях домішок в повітрі. Фільтри використовуються для тонкого очищення повітря з концентраціями домішок менше 100 мг/м<sup>3</sup>. Якщо потрібно тонка очищення повітря при високих початкових концентраціях домішок, то очищення ведуть в системі послідовно з'єднаних пиловловлювачів і фільтрів.

### **9.3. Заходи із зменшення забруднення довкілля на машинобудівних підприємствах**

Зменшення шкідливого впливу на довкілля забезпечуємо:

– використанням системи фільтрації (починаючи з фільтрування повітря яке викидається в атмосферу, закінчуючи фільтрацією і переробкою

рідин, які використовуються для охолодження, змащення, чищення металообробного обладнання) на заводі;

- дотримуванням правил правильної експлуатації металообробного обладнання;
- вчасно замінити, очистити: повітряні, масляні фільтри і відстійники якщо встановлена централізована система мащення чи вентиляції на заводі.
- збільшувати повторне використання металу (не викидати а збирати і складувати стружку для майбутньої очистки і повторного переплавлення).
- використанням правильно налагодженого обладнання і вузлів верстату, автоматизованих системи керування обладнанням, зменшенням допусків на обробку, що дало можливість зменшити відходи після обробки).
- застосуванням прогресивних методів виготовлення деталей (використовуємо автоматизовані системи керування, виготовленням деталей з керамічних матеріалів)
- використанням відновлюваної енергії, енергію сонця, вітру.

## Висновки

У представленій дипломній роботі, відповідно до виданого завдання, проведено дослідження процесу вібраційного обкатування зубчастих коліс, а також розроблено конструкцію пристрою та інструменту для здійснення процесу обробки.

1. Проведено аналіз завдання на проектування і обґрунтовано напрями роботи, а також проведено огляд результатів попередніх досліджень включаючи інформаційно-патентні дослідження.

2. Виконано оптимізацію схем формоутворення на проектованому верстаті, згідно з якою проведено аналіз конструктивно-технологічних особливостей деталі, аналіз її технологічності, проаналізовано методи формоутворення та формоутворюючі рухи при операціях, які виконуватимуться на проектованому верстаті. Також розроблена структурно-кінематична схема верстату.

3. Оптимізована компоновочна схема проектованого верстату, згідно з якою побудовані матриці компоновок, проведено аналіз базових компоновок верстатів фрезерної групи.

4. Виконано технологічний розрахунок, згідно з яким був вибраний крупносерійний тип виробництва і проведено техніко-економічне обґрунтування вибору технологічного процесу.

5. Проведено аналітичний розрахунок припусків для поверхні Ø54K7

6. Вибрано різальні і контрольні-вимірювальні інструменти для всіх операцій технологічного процесу.

7. Детально розраховано режими різання для окремих операцій технологічного процесу.

8. Проведено нормування часу: для токарної операції 020 - аналітично, а для решти операцій - за табличними даними.

9. Визначено завантаження обладнання технологічного процесу за коефіцієнтом використання, за основним часом, за потужністю.

10. Виконаний кінематичний розрахунок приводу головного руху, згідно з яким визначені режими різання при граничних значення обробки різних матеріалів різними.

11. Розраховано діапазон регулювання приводу головного руху  $D = 6$ ; визначена структурна формула приводу головного руху; побудована структурна сітка і графік чисел обертів.

12. В якості двигуна приводу головного руху вибрано двигун 4A100S4Y3 із частотою обертання ротора  $n = 1435 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  і потужністю  $N = 3,0$  кВт.

13. Спроектовано пристрій для контролю деталі.

14. Економічний ефект від впровадження нового верстата становить 183100 грн.

15. Проведено аналіз механізму деформування поверхні зубів деформівними елементами.

16. Розроблено конструкцію інструменту для віброобкатки.

17. Розроблено принципову схему пристрою із замкнутим силовим контуром.

18. Розглянуто окремі питання з охорони праці та екології.

## Перелік посилань

1. Курсовое проектирование по технологии машиностроения/Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. - 4-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Высш. шк., 1983. – 256 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. - Т.1/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. - 656 с. : ил.
3. Егоров М. Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. Изд. 6-е, перераб. и доп. Учебник для машиностроительных вузов. - М.:Высшая школа, 1969. - 480 с.
4. Режимы резания металлов. Справочник. /Под ред. Ю.В. Барановского - 3-е изд., перераб. и доп. - М.:Машиностроение, 1972. – 363с.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. - Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. /Под ред. И.Н. Жестковой. –М.: Машиностроение, 2001. -920 с.
6. Справочник нормировщика-машиностроителя. В 4-х томах. - Т2. Техническое нормирование станочных работ / Под. ред. Е.И.Стружестраха. – М.:МАШГИЗ, 1961. – 893 с.
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2. – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. –М.: Машиностроение, 2001. - 801 с.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т Т. 3. – 8-е изд., перераб. и доп. /Под ред. И.Н. Жестковой. –М.: Машиностроение, 2001. -920 с.
9. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб. Пособие для машиностроит. спец. техникумов. –М.: Высш. Шк., 1984. -336 с.
10. Зайцев Б.Г., Шевченко А.С. Справочник молодого токаря. –М.: Высш. школа, 1979. -397 с.
11. Колев Н.С., Красниченко Л.В., Никулин Н.С. и др. Металлорежущие станки. Учеб. Пособие для вузов. -2-е изд., перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1980. -500 с.
12. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1991. - 382 с.

13. Кучер А.М. Металлорежущие станки (альбом общих видов, кинематических схем и узлов)/ Кучер А.М., Киватицкий М.М., Покровский А.А. – М.: Машиностроение, 1972. – 308 с.
14. Проников А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. I: Проектирование станков / Проников А.С., Аверьянов О.И., Аполлонов Ю.С. и др. /Под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.
15. Свирщевский Ю.И., Макейчик Н.Н. Расчет и конструирование коробок скоростей и подач. Минск, Высшейш. школа, 1976. - 434 с.
16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. -5-е изд., перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 2001. - 912 с.
17. Металорежущие станки. . В 2-х т. Т.2/Под ред. Н.С.Ачеркана -2-е изд., перераб.– М.: Машиностроение, 1965. -619 с.
18. Дипломное проектирование по технологии машиностроения/ Под ред. В.В.Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1979.-464 с.
19. Васильченко В.Г. Накатывание зубчатых колес. Производство точных заготовок машиностроительных деталей прокаткой. - М.: НИИИНФОРТЯЖМАШ, 1968. - 68 с.
20. Генкин .Вопросы заедания зубчатых колес. - М.; изд. АН СРРС, 1959. – 248с.
21. Джонсон В. Механика процессов выдавливания металла. - М.: Металлургия, 1965. -174 с.
22. Справочник зубореза/ Г.Г.Овумян, Я.И.Адамович. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 223 с.
23. Грановский Г.И. Кинематика резания/ Г.И.Грановский. – М.: Машгиз, 1948.
24. Харлампиев И.С. Обкатывающие протягивание зубьев зубчатых колес/ И.С.Харлампиев. – М.: Машиностроение, 1981. – 211 с.
25. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков (основы компонетики)/ Врагов Ю.Д. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
26. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, Под ред. В.М.Кована. – Том 1. – М.: Науч.-техн.издат., 1963. – 887 с.

27. Шнейдер Ю.Т. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – 2-е изд. перераб. и доп./Ю.Т. Шнейдер. – Ленинград: Машиностроение, 1982.
28. Филоненко С.Н. Резание металлов. – К.: Техніка, 1975. – 212 с.